



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS AUDIOVISUALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Vigilancia y Evolución de Tecnologías Radio para Smart Cities: Antenas Inteligentes

AUTORA: TERESA BERGEL SAN MARTIN

TUTOR: LUIS INCLÁN SÁNCHEZ

Leganés, febrero 2014

Para todos aquellos que me han apoyado en este camino.

Puedes llegar a cualquier parte, siempre que andes lo suficiente.

Lewis Carroll (1832-1898) Matemático y escritor británico.

Resumen

El objetivo de este trabajo fin de grado ha consistido en implementar y aplicar una metodología de vigilancia a algunas tecnologías radio prometedoras, concretamente las antenas inteligentes, especialmente útiles en el desarrollo de las Smart Cities.

En primer lugar se han introducido los fundamentos básicos de estas tecnologías necesarios para entender sus características, los beneficios que pueden aportar, y mejorar la interpretación de la información que se pretende procesar. Se ha resumido el estado del arte de dos tecnologías: las antenas reconfigurables y los sistemas MIMO. Ambas se han incluido bajo la denominación genérica de antenas inteligentes por su potencial complementariedad para ser utilizadas en las redes de próxima generación en entornos inteligentes.

La parte troncal del trabajo ha consistido en la implementación de un estudio de Vigilancia Tecnológica que sistemáticamente ha localizado, clasificado y valorado la información científica y tecnológica relativa a dichas tecnologías. En particular se ha buscado información en bases de datos de publicaciones científicas y patentes. Se ha podido analizar el interés suscitado por estas tecnologías en función de los resultados obtenidos. De manera complementaria se ha ampliado el estudio a un análisis del entorno competitivo y económico utilizando como herramienta un proceso de Inteligencia Competitiva. Esta técnica nos ha permitido estudiar las oportunidades de innovación y desarrollo de estas tecnologías dentro de las telecomunicaciones.

La metodología implementada en el trabajo ha permitido valorar la tendencia futura a medio y largo plazo de algunos ejemplos de tecnologías radio y predecir de manera sistemática su impacto y aplicación en las redes inalámbricas de nueva generación. Este estudio pretende ser útil para organizaciones interesadas tanto en innovar como en invertir en la tecnología analizada aportando información de valor sobre sus posibilidades y limitaciones de evolución.

Palabras Clave: Vigilancia Tecnológica, Inteligencia Competitiva, Publicaciones Científicas, Patentes, Información, Conocimiento, Innovación, Smart Cities, Tecnologías Radio, Comunicación Inalámbrica, Antenas Inteligentes, Sistemas MIMO, Antena Reconfigurable.

Abstract

The aim of this final degree study has been to implement and apply a methodology for monitoring some promising radio technology , namely Smart Antennas , especially useful in the development of Smart Cities.

First we have introduced the basics concepts of these technologies necessary to understand its characteristics, potential benefits , and improve the performance of the information is to be processed. The state of the art of two technologies has been summarized: reconfigurable antennas and MIMO systems . Both have been included under the generic name of Smart Antennas for their potential complementarity to be used in next generation networks in intelligent environments .

The backbone of the study has been to analyze the implementation of a Technological Vigilance which has systematically located , classified and evaluated the scientific and technological information about these technologies. In particular we have sought information in databases of scientific publications and patents. It has been possible to analyze the interest in these technologies based on the results obtained. Complementary the study has been extended to an analysis of the competitive and economic environment using a process of Competitive Intelligence. This technique allowed us to study the opportunities for innovation and development of these technologies in telecommunications.

The methodology implemented has allowed this study to recognize the future trend in the medium and long term of this radio technologies and systematically predict their impact and application in next-generation wireless networks . This study should be useful for organizations interested in both innovating and investing in the analyzed technology providing valuable information about their possibilities and limitations for evolution.

Key Words: Teconological Vigilance, Competitive Inteligence, Scientific Publications, Patents, Information, Knowledge, Innovation, Smart Cities, Radio Tecnologies, Wireless Communications, Smart Antennas, MIMO Systems, Reconfigurable Antenna.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE GENERAL	8
Capítulo 1: INTRODUCCION	12
1.1. Motivación del Estudio	
1.2. Estudio de una Tecnología	
1.3. Objetivos y Estructura del Documento	
Capítulo 2: TECNOLOGIA "SMART ANTENNAS"	16
2.1. Motivación	
2.2. Smart Antennas	
2.3. Tecnología MIMO	
2.4. Antenas Reconfigurables	
2.5. Aplicaciones de las Smart Antennas en las Smart Cities	
2.6. Conclusiones	

Capítulo 3: VIGILANCIA TECNOLÓGICA	35
3.1. Motivación	
3.2. Metodología de la Vigilancia Tecnológica	
3.3. Resultados de la Vigilancia Tecnológica en Base a Publicaciones Científicas	
3.4. Resultados de la Vigilancia Tecnológica en Base a Solicitudes de Patentes	
3.5. Ampliación del Estudio	
3.6. Conclusiones de la Vigilancia Tecnológica	
Capítulo 4: INTELIGENCIA COMPETITIVA	63
4.1. Introducción	
4.2. Metodología de la Inteligencia Competitiva	
4.3. Ventajas Competitivas de la Tecnología Estudiada y de su Sector	
4.3. Estudio Sobre el Sector de las Telecomunicaciones	
4.4. Análisis Estratégico del Sector de Telecomunicaciones	
4.5. Estado Competitivo Actual de la Tecnología Estudiada	
4.6. Conclusiones de la Inteligencia Competitiva	
Capítulo 5: CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	92
5.1. Conclusiones	
5.2. Líneas Futuras	
REFERENCIAS	94

Capítulo 1:

INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación del Estudio

1.1.1. Evolución de las ciudades hacia las "Smart Cities"

El siglo XXI ya se denomina “El Siglo de las Ciudades” debido a que experimentará el mayor desarrollo urbano de la historia.

Se estima que en el año 2030 el 60% de la población mundial vivirá en las ciudades frente al 50% actual [1.1]. Esta urbanización será de carácter global, ya que las ciudades están creciendo vertiginosamente tanto en los países desarrollados como en los que se encuentran en vías de desarrollo.

Este crecimiento generalizado de las ciudades supondrá la concentración de la mayor parte de la actividad humana en un espacio reducido y por supuesto conlleva aspectos tanto positivos como negativos.

Por un lado, el crecimiento descontrolado de las ciudades puede conducir a un aumento de las desigualdades entre los ciudadanos, empeorar la calidad de vida y supone una grave amenaza para el medio ambiente. Por este motivo, es necesario controlar el crecimiento de las urbes y gestionarlo correctamente.

Por otro lado, el crecimiento urbano convierte las ciudades en focos de capital humano, económico, social y cultural. De esta forma, las nuevas metrópolis ofrecen importantes oportunidades que no deben ser desaprovechadas.

El concepto de “Smart Cities” nace tanto de la necesidad de gestionar y controlar el crecimiento inminente de las ciudades como de la importancia de aprovechar las nuevas oportunidades que este va a ofrecer. El objetivo de estas ciudades del futuro es mejorar la vida en las urbes, haciéndola más cómoda, beneficiosa y sostenible, mediante la utilización de las nuevas tecnologías, entre las que destacan las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC).

Las TIC se presentan como pilar fundamental para el desarrollo de las Smart Cities. Su aplicación mejorará toda la sistematización de las ciudades, haciéndolas más eficaces y optimizando el aprovechamiento de sus recursos. No solo se trata de una tecnología fundamental para el acceso a los servicios de la ciudad, la transmisión de datos y la comunicación entre la Smart City y los ciudadanos, sino que las TIC se consideran una tecnología facilitadora, ya que su utilización será clave en el desarrollo de las redes de energía, las redes de transporte, etc.

La Smart City funcionará básicamente como un gran sistema de arquitectura similar a la de cualquier sistema de información. Unos dispositivos de entrada, principalmente sensores, entre los que destacarán por su potencial los Smartphones, permitirán recoger grandes volúmenes de datos relativos a todo tipo de variables que caracterizan el estado de la ciudad. Unas redes de comunicaciones, fijas e inalámbricas, facilitarán la recolección de todos esos datos para trasladarlos a donde serán almacenados y tratados, en lo que sería la memoria y el procesador del sistema. El procesador, aplicando los algoritmos previamente programados, agregará y procesará esa información para ponerla a disposición de la plataforma de servicios. En la plataforma de servicios, cada una de las unidades de gestión de los diferentes servicios de la ciudad hará uso de esa información para tomar decisiones de gestión. Los actuadores, conectados al sistema mediante las redes de comunicaciones, permitirán llevar a la práctica las decisiones de gestión adoptadas por medio de la plataforma de servicios. Así, por ejemplo, se

podrá reducir la intensidad del alumbrado público en determinadas áreas y aumentarla en otras, en función de la distribución de la población en cada momento; se podrá alterar la programación de los sistemas de gestión del tráfico de vehículos y de los semáforos para que la densidad de tráfico se reduzca en una zona de congestión; se podrá modificar la climatización de edificios públicos en función de su ocupación y de la distribución de las personas en su interior; se podrá guiar a personas con discapacidad para que en su desplazamiento por la ciudad eviten zonas de difícil acceso por obras, por densidad de viandantes o por cualquier otra razón. En suma, una vez la ciudad se convierta en un sistema que se conoce y se caracteriza a sí mismo, dotado de los sensores necesarios para ello y de las redes de comunicación precisas para que la información captada por aquellos fluya hasta los centros de procesamiento y gestión, las posibilidades de mejora de los servicios públicos y de la eficiencia en la prestación de los mismos son enormes.

Actualmente ya se están creando prototipos de los que serán estas ciudades del futuro. Un claro ejemplo es la llamada "Connected City" (Ciudad Conectada en español) que GSMA presentará, junto a otros colaboradores como AT&T, Deutsche Telekom, KT, Vodafone, etc., en el Mobile World Congress de 2014 [1.2].

1.1.2. Necesidad de desarrollo en las comunicaciones inalámbricas

Una de las limitaciones que deben afrontar las Smart Cities es lograr crear una red de comunicación flexible y con suficiente capacidad para abastecer las enormes necesidades de estas ciudades del futuro. Por este motivo, el desarrollo de las TIC se hace fundamental con vistas a su aplicación en las ya inminentes Smart Cities.

En unas ciudades basadas en la comunicación total entre sensores, ciudadanos y servicios urbanos, las conexiones inalámbricas se convierten en indispensables. Todos los ciudadanos y servicios de la ciudad deberán tener acceso constante a la red de la Smart City. Esto se traduce por una conexión a internet permanente y generalizada que solo será posible mediante el desarrollo y ampliación de las tecnologías wireless. Es interesante pues analizar cómo están evolucionando estas tecnologías para posibilitar el funcionamiento de las Smart Cities.

Como parte de las comunicaciones wireless, vamos a centrarnos en el desarrollo que deben experimentar las antenas para adaptarse a las exigentes demandas de unas ciudades basadas en una constante transmisión y recepción de datos.

1.1.3. Tecnología de "Smart Antennas" como posible alternativa

Como se viene diciendo, en las Smart Cities existirá una comunicación vía radio constante entre ciudadanos, objetos y servicios de la ciudad. Esto provocará una saturación creciente del espectro donde los sistemas radio tendrán que convivir, es decir, funcionar correctamente y no interferir con el resto de sistemas o hacerlo lo mínimo posible. Por este motivo, las antenas de las ciudades del futuro deberán incluir mejoras, algunos ejemplos de estas pueden ser:

- Aumentar la capacidad de la red
- Evitar interferencias
- Mejorar la eficiencia espectral aprovechando al máximo el espectro de cada canal
- Mejorar la eficiencia energética

Las antenas convencionales no ofrecen las prestaciones necesarias como para abastecer las necesidades de las Smart Cities. Para conseguir una red de comunicación de gran capacidad, el número de antenas que se deberían instalar sería inabordable por razones económicas, de espacio o visuales entre otras. En cualquier caso, reducir el número de antenas a desplegar es un objetivo razonable. Se presenta pues como una necesidad esencial que las

antenas evolucionen hasta ser capaces de cubrir las necesidades anteriormente listadas limitando su número. Esto se conseguiría si las antenas pudieran adaptar su funcionamiento, esto es si, por ejemplo, fueran capaces de reconfigurarse para que una sola antena pueda cubrir varias zonas, tanto en el espacio como en el espectro de frecuencia, según las necesidades de cada momento.

La tecnología de las “Smart Antennas” (antenas inteligentes) es prometedora para este propósito, este es el planteamiento que orienta este estudio.

Dentro de la categoría que podemos agrupar bajo las Smart Antennas, la tecnología MIMO, por ejemplo, aumenta la capacidad de la red gracias a la utilización de varios canales ortogonales independientes. Otro tipo de antena inteligente, como son las antenas reconfigurables, gracias a su capacidad de poder variar su banda de trabajo, su diagrama de radiación y su polarización, permiten por ejemplo aprovechar al máximo el espectro de cada canal así como mejorar la eficiencia tanto espectral como energética y reducir las interferencias.

1.2. Metodología de estudio de una Tecnología

La importancia tanto de la Vigilancia Tecnológica (VT) como de la Inteligencia Competitiva (IC) para la empresa innovadora se ha puesto de manifiesto con la aprobación de la norma experimental UNE 166006 EX (AENOR, 2006a): “Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva”, elaborada por el comité tecnológico AEN/CTN 166 Actividades de Investigación y Desarrollo Tecnológico e Innovación. Esta norma reconoce la VT y la IC como herramientas fundamentales en el marco de los sistemas de gestión de la I+D+i, puesto que a través de ellas se generan ideas utilizables en los proyectos de investigación, desarrollo e innovación que contribuirán a la evolución de nuevos productos, servicios o procesos [1.3].

1.2.1. Estudio mediante la "Vigilancia Tecnológica"

Parece razonable considerar que el desarrollo de la tecnología de las Smart Antennas podría ser de vital interés, sobre todo porque tendrá una aplicación directa en las ciudades del futuro entre otras muchas utilidades. Por lo tanto, las antenas inteligentes podrían ser un aspecto de interés para empresas e instituciones que orientan su actividad a implementar ciudades dotadas de tecnologías radio avanzadas.

Con el objetivo de desarrollar esta tecnología, resulta de extrema importancia conocer su estado actual, al igual que establecer cuál podrá ser su evolución futura. Este tipo de estudio sobre una tecnología en concreto, en este caso sobre las Smart Antennas, es un proceso complejo en general que puede ser abordado desde diferentes perspectivas. Uno de los métodos más efectivos, y que permite la sistematización de estas actividades, se conoce como “Vigilancia Tecnológica”, y ha sido desarrollado debido al creciente interés de las empresas e instituciones de innovación por una herramienta de análisis efectiva del estado y futuro desarrollo de una tecnología.

En las últimas décadas, las empresas pertenecientes a distintas industrias han sido testigos de la diversificación tecnológica asociada a la creciente complejidad de los productos. El rango de disciplinas relevantes para los procesos de innovación tecnológica se ha ido expandiendo en ambas direcciones, amplitud (número de disciplinas relevantes) y profundidad (sofisticación y especialización). De este modo, para el desarrollo de innovaciones de procesos y productos, las empresas e instituciones deben hacer uso de diversas y complementarias fuentes tecnológicas y científicas. Esta realidad incide en decisiones estratégicas tales como la identificación de las tecnologías en qué invertir, la identificación de un abanico de

oportunidades para explotar eficazmente cada tecnología seleccionada y la definición del modo en que las tecnologías van a ser adquiridas y/o desarrolladas.

En este contexto, la VT juega un papel fundamental. Se podría decir que dicha actividad consiste en realizar de forma sistemática la captura, análisis, difusión y explotación de las informaciones técnicas útiles para el desarrollo de una determinada tecnología. La VT trata de analizar el comportamiento innovador de los competidores directos e indirectos, explotar todas las fuentes de información (libros, bases de datos, patentes, etc.), examinar los productos existentes en el mercado (tecnología incorporada), y obtener conocimiento de las competencias tecnológicas que predominarán en un futuro más o menos próximo. La vigilancia está estrechamente ligada a la gestión de la innovación y a la dirección estratégica de la tecnología, y tiene como misión fundamental el seguimiento del estado de la técnica y la identificación de oportunidades y amenazas tecnológicas. De forma más específica, la VT ayuda a decidir en qué programas de investigación hay que invertir así como cuales abandonar y facilita la incorporación de nuevos avances tecnológicos en los propios productos.

1.2.2. Estudio mediante la "Inteligencia Competitiva"

La VT forma parte de un concepto más amplio como es la “Inteligencia Competitiva” como se muestra en la figura 1.1. La IC hace referencia a la selección y análisis de información de valor estratégico sobre la industria y los competidores (figura 1.1).

La información científica y técnica (propiedad intelectual, investigación, productos, estándares, etc.), y los análisis prospectivos y de tendencias tecnológicas se han situado en la vanguardia del desarrollo de metodologías y herramientas de inteligencia en los últimos años, con la denominación de VT. A los campos citados en el ámbito técnico han de añadirse otros (competidores, productos, mercados, clientes, proveedores, tendencias en la organización y gestión empresarial, finanzas, etc.) que se incorporan en un concepto más general que suele englobarse como la Inteligencia Competitiva.

Finalmente podemos describir, mediante la figura 1.1, la VT y la IC como aquellos procesos que gestionan estratégicamente la información externa a la empresa, mientras que la información interna forma parte de la denominada Gestión del Conocimiento en la que no entraremos en este trabajo.

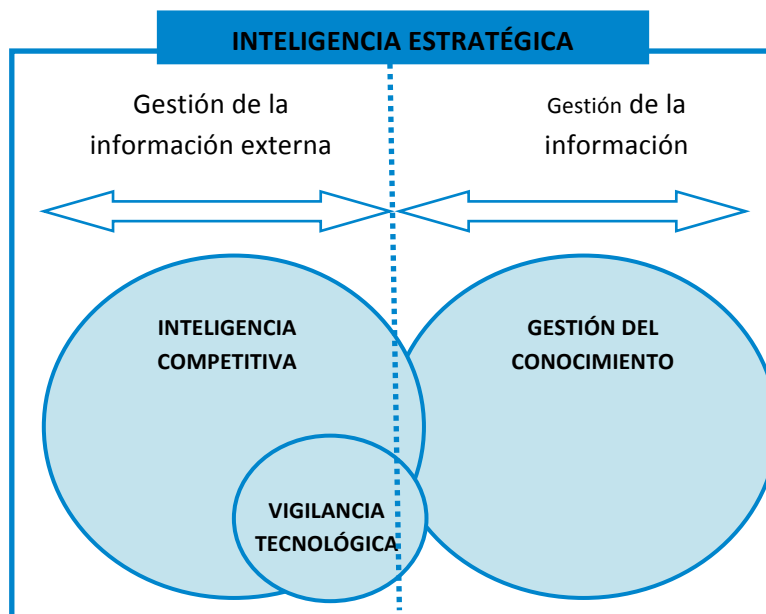


Figura 1.1. Campos de aplicación de los conceptos de inteligencia que se utilizan en la empresa según "EU Innovation Programme: INFOACT Project 1998-2000". Se muestra la Vigilancia Tecnológica como parte de la Inteligencia Competitiva.

1.3. Objetivos y estructura del documento

En este trabajo se considera como premisa que las Smart Antennas van a desempeñar un papel decisivo en el desarrollo inminente de las ciudades del futuro.

Los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo de este trabajo son los siguientes:

- Definir la tecnología de las Smart Antennas, centrándose en los sistemas MIMO y en las antenas reconfigurables, y entender cualitativamente las ventajas y mejoras que pueden aportar estas dos tecnologías.
- Estudiar su estado de desarrollo en cuanto a resultados científicos y tecnológicos mediante la VT.
- Determinar el impacto estratégico y económico de estas tecnologías mediante la IC, bien a través del marco competitivo general en el sector, bien por medio de las empresas que operan en el mismo.

Con este fin, el documento se organizará de la siguiente forma:

En primer lugar, se analizará el concepto de “Smart Antena” y se describirá el funcionamiento y las ventajas potenciales de dos técnicas en concreto: la tecnología MIMO y las antenas reconfigurables.

En segundo lugar, una vez descrita la tecnología en cuestión, se llevará a cabo la VT de la misma, presentando los resultados y conclusiones pertinentes.

A continuación, se realizará un análisis de IC de las tecnologías estudiadas, con el fin de proporcionar información de interés estratégico y económico.

Finalmente, se expondrán una serie de conclusiones acerca de los resultados obtenidos, su utilidad y la posible ampliación del mismo mediante algunas líneas futuras.

Capítulo 2:

TECNOLOGIA "SMART ANTENNAS"

2.1. Motivación de la Tecnología

Durante las dos últimas décadas se ha observado una explosión en el crecimiento de los sistemas de radio. Los sistemas de comunicación inalámbricos han ido migrando de los sistemas analógicos de banda estrecha de primera generación (1G) en la década de 1980, a los sistemas digitales de banda estrecha de segunda generación (2G) en la década de 1990, a los sistemas multimedia de banda ancha de tercera generación (3G), a la red de sistemas de cuarta generación (4G) que se está desplegando actualmente.

Así pues, los futuros sistemas radio de banda ancha multimedia están siendo activamente investigados y desarrollados en todo el mundo.

Del mismo modo, se ha experimentado una revolución celular como muestra la figura 2.1. Desde 2002, los teléfonos móviles superan en número a los teléfonos de línea fija. En noviembre de 2007, el número total de abonados a la telefonía móvil por todo el mundo había alcanzado los 3300 millones y más de 798 millones de personas accedían a Internet a través de un teléfono móvil. Este crecimiento masivo ha hecho del teléfono móvil el dispositivo electrónico más común en el mundo. Además de sus servicios multimedia como voz, audio, vídeo y datos, el uso generalizado de las comunicaciones inalámbricas también ha entrado en muchos aspectos de nuestra vida, incluyendo el cuidado de la salud, automatización del hogar, etc.

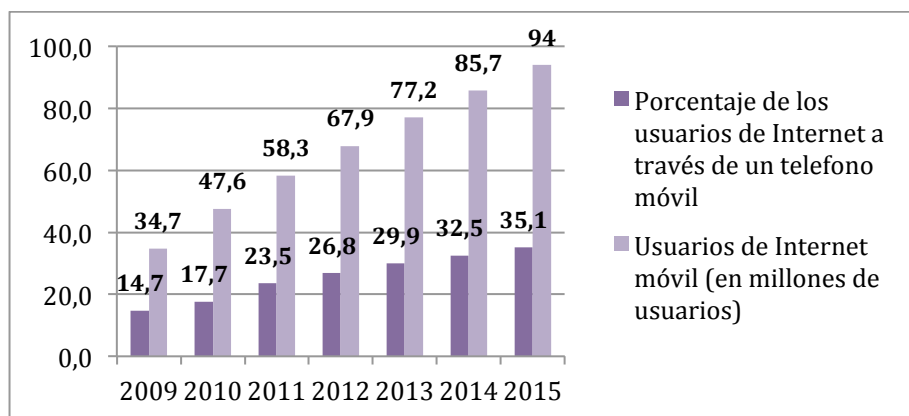


Figura 2.1. Crecimiento de los usuarios de internet móvil en millones de usuarios, y porcentaje de los usuarios de internet a través de un teléfono móvil en Europa. Datos de Alemania, España, Francia, Italia y Reino Unido. Fuente: eMarketer (www.emarketer.com), febrero 2011.

Las redes inalámbricas de área local también han sido desplegadas tanto en ambientes residenciales y domésticos como en oficinas y empresas, debido en parte a la función que aportan y a su bajo coste.

Sin embargo, la tasa de transferencia que se consigue con las redes inalámbricas actuales es todavía muy limitada comparándolas con las cableadas. Después del 802.11b aparecieron el estándar 802.11a y el tan extendido 802.11g, que quintuplican la velocidad del primero, pero sus 54Mbps quedan muy lejos aún de los 1000Mbps del Gigabit Ethernet que usan algunas redes cableadas. Además el alcance y el rendimiento que ofrecen son todavía limitados en algunos aspectos.

Debido a estas restricciones, el grupo de trabajo IEEE 802.11n está desarrollando un estándar para redes inalámbricas que permitirá conseguir una velocidad máxima teórica de hasta 600Mbps, 10 veces más que el límite teórico de sus predecesores, y un throughput (caudal efectivo) de 108Mbps, como muestra la figura 2.2. Este estándar, que representará la cuarta generación de telefonía celular, está aún en desarrollo aunque ya se haya iniciado su despliegue, así pues fabricantes como Cisco, Belkin o Netgear han sacado ya al mercado dispositivos denominados “Pre-n”, basados en esta tecnología, y que, aunque no aseguran que serán compatibles con el definitivo 802.11n, ya ofrecen ciertas ventajas sobre las antiguas normas.

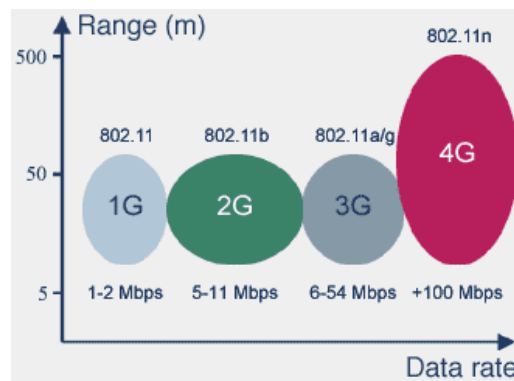


Figura 2.2. Evolución de los estándares de telefonía celular en función de su relación alcance- tasa de datos.

Fuente: Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de laWLAN deWheeler Lane Technology College

Estos índices muestran una primera foto de la evolución que están experimentando las comunicaciones inalámbricas. Cada vez se hacen más necesarias mejoras en cuestiones como ancho de banda disponible, velocidad, calidad y alcance de los servicios inalámbricos. Las ciudades del futuro, o Smart Cities, no harán más que aumentar estas necesidades. Esto representa una clara motivación para el desarrollo de tecnologías que mejoren las prestaciones de las comunicaciones inalámbricas como son, por ejemplo, las Smart Antennas.

2.2. Smart Antennas

2.2.1. Introducción

Los canales inalámbricos tienen que afrontar varios inconvenientes tales como las interferencias, el ruido, el desvanecimiento provocado por las múltiples trayectorias de una señal, etc. Las antenas emplean la diversidad, entre otras estrategias, para mitigar estas deficiencias. La diversidad es un concepto amplio que en este trabajo se aborda desde una perspectiva práctica, en este sentido se puede comenzar describiendo formas en las que se puede conseguir:

- **Diversidad temporal:** se envía la misma señal varias veces dejando transcurrir al menos el tiempo de coherencia del canal entre una transmisión y la siguiente para que el canal haya podido variar significativamente y no afecte igual a todas las transmisiones. Este mecanismo supone un coste muy elevado ya que el tiempo dedicado a las transmisiones de diversidad de un usuario podría emplearse en transmitir la señal de otros usuarios.
- **Diversidad frecuencial:** se envía la misma señal sobre distintas portadoras, separadas entre sí al menos el ancho de banda de coherencia del canal para que las condiciones del canal puedan ser diferentes. Este mecanismo supone un coste muy elevado ya que la frecuencia empleada en la transmisión de diversidad de un usuario podría emplearse para dar servicio a otro usuario.

- Diversidad espacial: se sitúan varias antenas receptoras suficientemente separadas entre sí como para poder garantizar que la señal recibida en cada antena ha viajado en condiciones de propagación estadísticamente independientes. Este mecanismo conlleva un coste reducido al aprovechar la dimensión espacial en lugar de la temporal o la frecuencial.
- Diversidad en polarización: incrementa la capacidad del canal mediante la recepción simultánea de dos señales ortogonales polarizadas.

Bajo esta perspectiva se puede decir que las antenas inteligentes pretenden optimizar el uso de las distintas diversidades y sistematizar el proceso.

2.2.2. Smart Antennas en comunicaciones móviles

La tecnología de antenas inteligentes mejora significativamente la eficiencia tanto espectral como energética así como la calidad de servicio. Aunque no son un requisito necesario en sentido estricto para las comunicaciones móviles 3G, las antenas inteligentes han sido integradas en varias tecnologías WCDMA (Wideband CDMA) y CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000). TD-SCDMA (Time Division Synchronous- Space Division Multiple Access) es el único estándar 3G específico que utiliza la tecnología de antenas inteligentes como estación base. Los sistemas inalámbricos de futuras generaciones adoptaran la tecnología de Smart Antenna como parte integral de su sistema.

2.2.3. Concepto de Smart Antenna

Las investigaciones sobre antenas que se denominaban inteligentes comenzaron en la década de 1960.

El concepto de antena inteligente inicialmente se asociaba a una antena cuyo haz de radiación era dinámico. Es decir, que era capaz de enfocar su lóbulo principal a una dirección deseada en cada momento.

En transmisión, utilizando configuraciones en array, el sistema de antena inteligente es capaz de ajustar dinámicamente los pesos de la formación de su haz con el objetivo de que el lóbulo principal apunte a un usuario específico. Es decir que, en este sentido, puede sacar provecho de la diversidad espacial que ofrece un agrupamiento de antenas. Esta técnica reduce considerablemente las interferencias con otros usuarios. Esta función de conformación del haz de transmisión corresponde a un canal MISO (múltiples entradas y salida única) y se conoce como “combinación de la diversidad en transmisión”.

En recepción, la estación base anula las posibles señales interferentes para maximizar la relación señal a ruido SNR de la señal deseada. En consecuencia, el uso de antenas inteligentes puede reducir significativamente la interferencia global en una celda y, por tanto, mejorar la capacidad del sistema. Esto corresponde a un canal de SIMO (única entrada y múltiples salidas), y se conoce como “formación del haz en recepción”. Cuando sólo existe la señal deseada y no hay fuentes de interferencia, esta función se conoce como “combinación de diversidad”.

Este sistema de optimización del haz de radiación en cada momento conlleva a mejorar la eficiencia energética, puesto que enfoca la mayor parte de la energía al objetivo deseado y reduce considerablemente las interferencias. Este concepto de antenas inteligentes se ilustra en la figura 2.3.

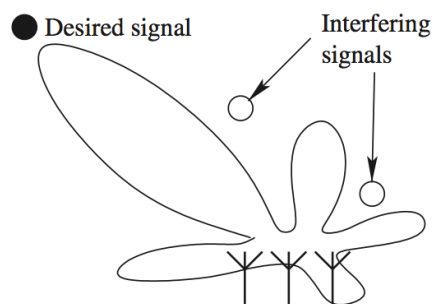


Figura 2.3. Esquema del haz de radiación de un sistema de antena inteligente. El lóbulo principal apunta a la señal deseada mientras que se crean nulos de recepción en las posiciones de las señales interferentes.

Actualmente las antenas inteligentes es un concepto más amplio que responde a la capacidad de ajustar su funcionamiento.

El concepto de “Smart Antenna” también hace referencia pues a las antenas que hacen un uso específico de la diversidad, ya sea temporal, espacial, frecuencial o de polarización, para mejorar el rendimiento del sistema. Existen múltiples implementaciones de antenas con estas características consideradas Smart Antennas. Este estudio se centrará en dos de las técnicas que están siendo más desarrolladas en la actualidad: la tecnología MIMO y las antenas reconfigurables.

2.3. Tecnología MIMO

MIMO, acrónimo en inglés de Multiple-Input Multiple-Output (en español, múltiple-entrada múltiple-salida) ha surgido como una solución prometedora a algunos de los problemas de los sistemas inalámbricos, ofreciendo mayores tasas de transferencia, mayores distancias de cobertura, mayor capacidad de usuarios y más fiabilidad; y todo ello sin aumentar ni el ancho de banda ni la potencia transmitida. El funcionamiento de los sistemas MIMO se basa en el uso de varias antenas, tanto en transmisión como en recepción, para establecer múltiples canales ortogonales independientes de comunicación y aprovechar así la propagación multicamino.

2.3.1. Estado del arte de la tecnología MIMO

Según el número de antenas que encontramos en ambos extremos de la comunicación podemos distinguir los siguientes sistemas ilustrados en la figura 2.4. Estos sistemas pueden considerarse como los puntos de partida de la tecnología MIMO:

- SISO (Single Input, Single Output): sistema de comunicaciones que utiliza una sola antena transmisora y una sola antena receptora.
- MISO (Multiple Input, Single Output): sistema de comunicaciones que utiliza dos o más antenas transmisoras pero sólo una antena receptora. También se le conoce como diversidad en transmisión.
- SIMO (Single Input, Multiple Output): sistema de comunicaciones que utiliza una sola antena de emisión y dos o más antenas receptoras. Se le conoce como diversidad en recepción.

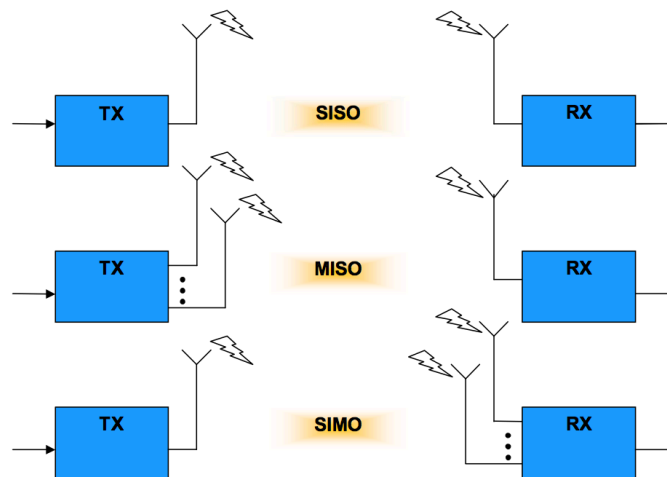


Figura 2.4. Diagramas de los sistemas SISO, MISO y SIMO antecesores del sistema MIMO.

Atendiendo a esta clasificación, MIMO representará entonces un sistema de comunicaciones que utiliza dos o más antenas en el extremo transmisor, y dos o más antenas en el extremo receptor, como se muestra en la figura 2.5. Es decir, utilizará diversidad en el espacio a través del uso de varias antenas tanto en transmisión como en recepción.

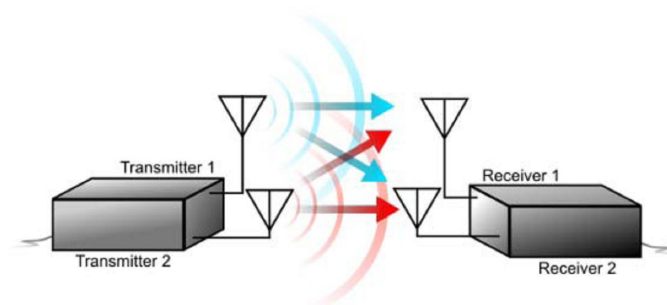


Figura 2.5. Sistema MIMO con múltiples antenas tanto en transmisión como en recepción.

2.3.2. Definición de la tecnología MIMO

La tecnología MIMO se refiere específicamente al uso de múltiples señales que viajan simultáneamente y a la misma frecuencia por distintos canales independientes, y que aprovecha la propagación multicamino para incrementar la eficiencia espectral del sistema de comunicación inalámbrico. Esto se consigue a través del uso de diversas antenas, distintas técnicas y complejos algoritmos de tratamiento digital de señales en ambos extremos del enlace: extremo transmisor (múltiple entrada) y extremo receptor (múltiple salida), ilustrado en la figura 2.5.

Antes del desarrollo de MIMO, los sistemas de comunicaciones inalámbricos veían en la propagación multicamino un gran inconveniente que debía de ser solventado, pero MIMO es la primera tecnología que trata el multicamino como una característica inherente al sistema que puede ser aprovechada para poder multiplicar su capacidad. Esto permitirá incrementar extraordinariamente la velocidad, el caudal efectivo, el rango, la capacidad y la fiabilidad del sistema. Por ejemplo, dispositivos de WLAN que implementan MIMO han demostrado en tests de laboratorio su capacidad de cubrir áreas al menos dos veces más grandes que la que cubren dispositivos convencionales, aumentando también la velocidad y disminuyendo la probabilidad de error.

2.3.3. Principales técnicas de la tecnología MIMO

Las principales técnicas de transmisión y recepción que utiliza la tecnología MIMO pueden dividirse en tres categorías: diversidad de antenas, multiplexación espacial y beamforming [2.1].

Diversidad de antenas

Los sistemas MIMO usan la diversidad espacial para mejorar las prestaciones del sistema. Esta se consigue mediante el uso de varias antenas en un mismo sistema de comunicación. Según en qué extremo de la comunicación se da la diversidad de antenas diferenciamos entre diversidad en recepción o diversidad en transmisión. Ambas pueden combinarse o darse por separado.

A. Diversidad en recepción:

Es el uso de dos o más antenas en un mismo receptor para generar recepciones independientes de la señal transmitida. Las antenas deben estar bien distribuidas espacialmente, es decir, deben estar separadas al menos por la distancia de coherencia del canal. Dependiendo de cómo usemos las antenas podemos distinguir a su vez tres subtipos:

- a) Diversidad por selección: se elige una de las antenas atendiendo a un criterio concreto (la que reciba la señal de más potencia, la que reciba la señal con mejor SNR, etc.) como se ilustra en la figura 2.7.

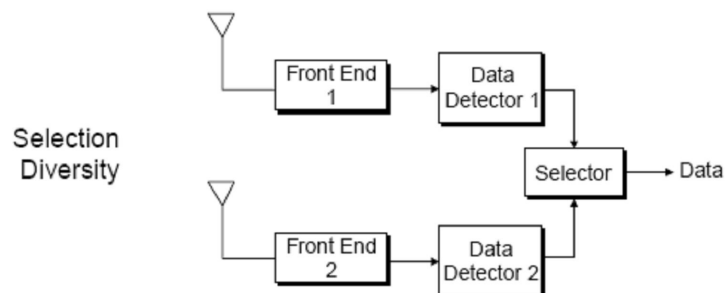


Figura 2.7. Esquema de un receptor con diversidad por selección.

- b) Diversidad por conmutación: cambia la antena de recepción cuando la señal recibida no supera un cierto umbral como ilustra la figura 2.8.

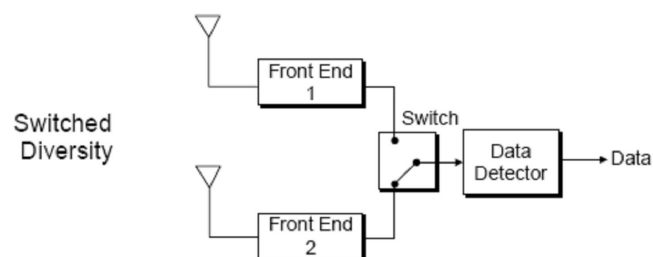


Figura 2.8. Esquema de un receptor con diversidad por conmutación.

- c) Diversidad por combinación: realiza una combinación lineal ponderada de todas las señales recibidas. Dependiendo de cómo sea la combinación, se divide a su vez varios tipos (de radio máximo, de igual ganancia, etc.) como ilustra la figura 2.9.

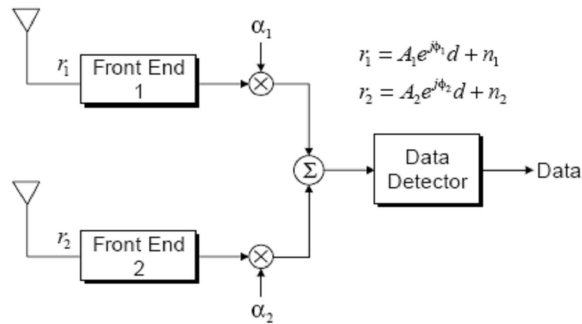


Figura 2.9. Esquema de un receptor con diversidad por combinación.

B. Diversidad de transmisión:

Se refiere al uso de dos o más antenas en el mismo transmisor. Existen varios tipos de diversidad de transmisión: con cambio de antena, con ponderación de frecuencia, a través de diversidad de retardo y a través de diversidad de código. Es esta última la más utilizada en los sistemas MIMO.

La diversidad de código, o técnicas Space-Time Coding (STC) (codificación espacio-tiempo), es un método empleado para mejorar la fiabilidad de la transmisión de datos usando diversidad de transmisión. STC se basa en transmitir redundantes copias codificadas de una misma trama de datos. Estas copias son distribuidas a lo largo del tiempo, utilizando así la diversidad temporal, y son transmitidas por las distintas antenas disponibles, utilizando la diversidad espacial. Este sistema aumenta la probabilidad de que al menos una de ellas llegue al receptor en buen estado y así hacer posible una decodificación fiable.

En la figura 2.10 vemos el diagrama de bloques de un transmisor con STC. Para cada símbolo de entrada el codificador espacio-tiempo elige una de las constelaciones para transmitir simultáneamente desde cada antena.

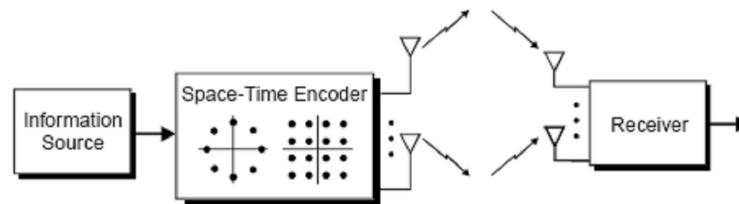


Figura 2.10. Diagrama de bloques de un transmisor con codificador espacio-tiempo.

Multiplexación Espacial o Spatial Multiplexing (SM)

La demultiplexación espacial consiste en la división de una señal de mayor ancho de banda en varias señales iguales de menor ancho de banda. El término “espacial” hace referencia a la transmisión, simultánea y a la misma frecuencia, de cada una de estas señales por medio de antenas diferentes.

La multiplexación espacial es justamente el proceso contrario: la combinación de varias señales de menor ancho de banda en una señal de mayor ancho de banda.

Estas dos técnicas son las que usan los transmisores y receptores MIMO respectivamente para aprovechar la propagación multicamino, como muestra la figura 2.11, y es la responsable del aumento de la tasa de transmisión en dichos sistemas.

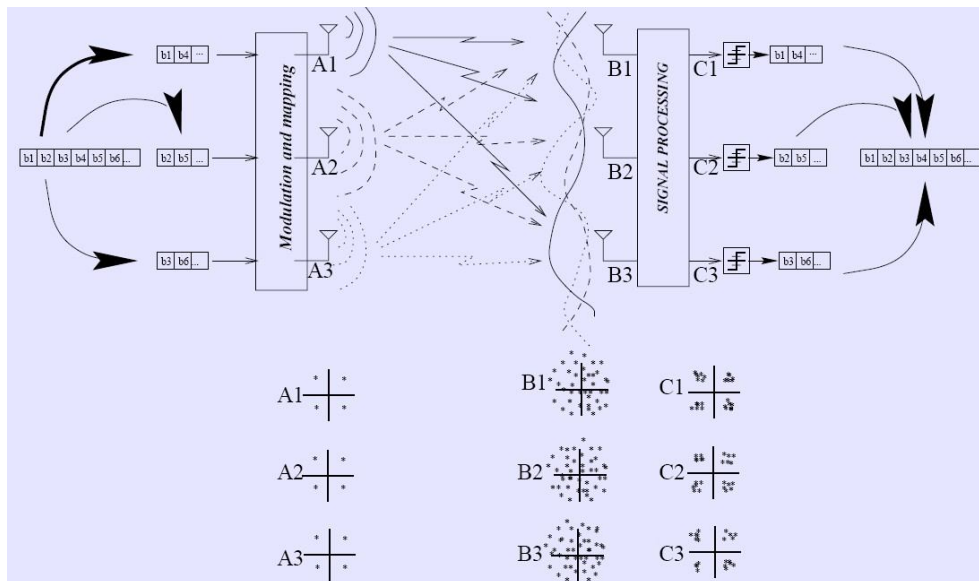


Figura 2.11. Esquema de la multiplexación espacial. La señal a transmitir es demultiplexada en varias señales de menor ancho de banda. Estas señales son divididas en tres grupos y transmitidas por las tres antenas que tiene el sistema MIMO en transmisión (A1, A2 y A3). Las señales viajan a través de los tres canales independientes y son recibidas por las tres antenas receptoras (B1, B2 y B3). En recepción se lleva a cabo la multiplexación de las distintas señales recibidas para reconstruir la señal original.

El orden de multiplexación espacial es el número de flujos de datos transmitidos paralelamente. Su valor máximo estará limitado por el número de antenas del extremo del canal de comunicación que disponga de menos antenas. El incremento de la eficiencia espectral será proporcional a este orden.

Beamforming

Beamforming es una técnica de procesamiento de señales usada para controlar el diagrama de radiación de una antena. Aporta la funcionalidad de un filtro espacial y es aplicada tanto en transmisión como en recepción:

- A. En recepción: beamforming se utiliza para incrementar o disminuir la sensibilidad del receptor en una determinada dirección. Por ejemplo, aumentar la sensibilidad en la dirección de la señal deseada y reducirla en las restantes direcciones, reduciendo así interferencias y ruidos.
- B. En transmisión: beamforming se emplea para configurar el patrón de radiación de la antena. Cambiando la forma del haz, se aumenta la directividad de la antena en una determinada dirección y minimiza la ganancia de la antena para el resto de direcciones.

Hay que tener en cuenta que el beamforming requiere un conocimiento previo del estado del canal.

2.3.4. Funcionamiento de la tecnología MIMO

Para comprender el funcionamiento de los sistemas MIMO y su utilización de la diversidad espacial, primero hay que entender en qué consiste la propagación multicamino.

Entre un transmisor situado en un punto A y un receptor situado en un punto B existe un camino primario que corresponde al más directo entre ambos puntos. Inevitablemente no todas las señales que se transmiten entre estos puntos siguen este camino, sino que debido a las numerosas reflexiones y/o refracciones que sufren con los diversos obstáculos que

encuentran a su paso, tomarán múltiples caminos distintos para alcanzar el receptor. Es decir que en una comunicación inalámbrica, se establecen un camino primario y varios caminos secundarios por donde viaja la señal transmitida. Esto es la propagación multicamino o multitrayecto y es una característica que presenta el canal radio de todos los sistemas de comunicaciones inalámbricos. La figura 2.12 muestra un escenario de propagación multicamino.

Las señales que recorren estos caminos secundarios llegarán al receptor en tiempos diferentes, siempre más tarde que la señal que siguió el camino primario, ya que cada una de éstas ha seguido una ruta diferente al resto. Se dice que tienen un desfase con respecto a la señal primaria. Según este desfase se producirán interferencias constructivas o destructivas provocando sumas o degradaciones de la señal original.

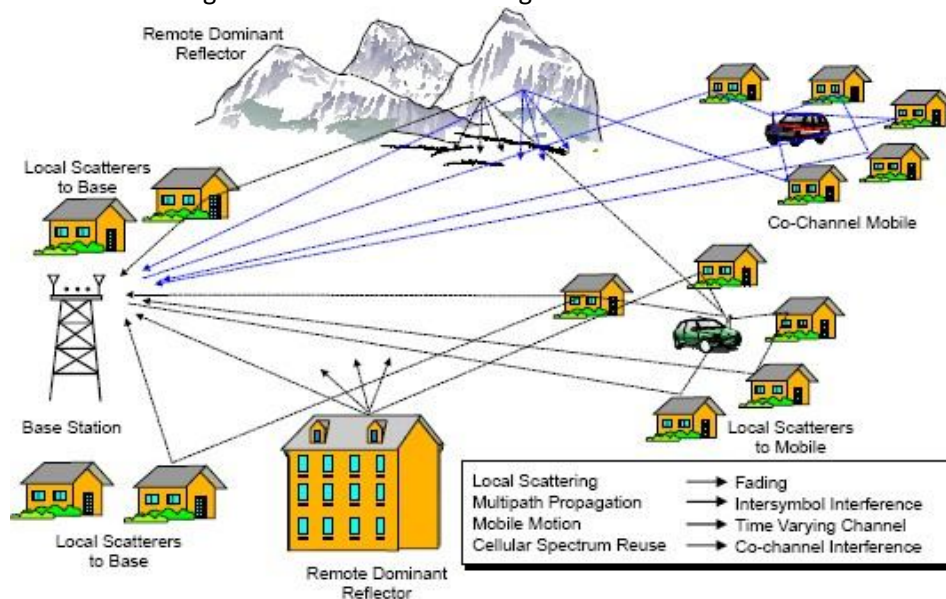


Figura 2.12. Escenario de propagación multicamino. Entre el coche y la estación base, por ejemplo, se establecerá un camino de comunicación directo y varios caminos secundarios resultantes de una reflexión de la señal en las montañas, una reflexión de la señal en los edificios, etc.

La propagación multicamino fue considerada un problema para las radiocomunicaciones, sin embargo, durante los años 90, varios investigadores de la Stanford University y los Laboratorios Bell demostraron que podía ser explotada para multiplicar la capacidad de los sistemas inalámbricos. Esta es la idea principal en la que se basa el funcionamiento de los sistemas MIMO, la cual queda ilustrada en la figura 2.13.

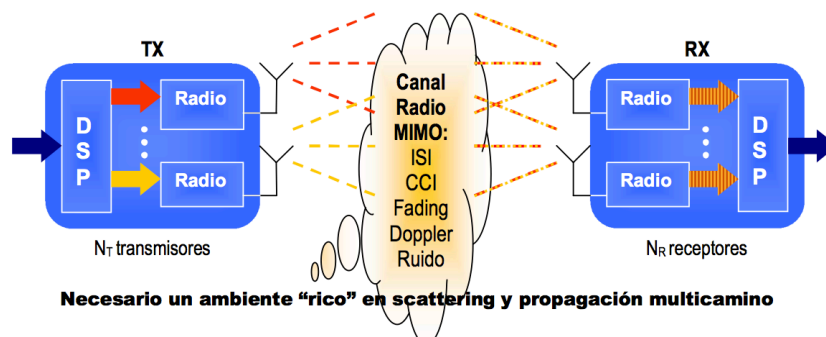


Figura 2.13. Esquema general de un sistema MIMO donde se muestra como este hace uso de un canal rico en propagación multicamino.

Un sistema MIMO dispondrá de un transmisor con N_T antenas transmisoras espacialmente distribuidas. El transmisor también contendrá un DSP (Digital Signal Processor,

procesador digital de señales en español) que codificará cada flujo de datos con velocidad R , en NT subflujos de velocidad R/NT cada uno. Cada subflujo será modulado y enviado en paralelo hacia el canal inalámbrico por una antena diferente. Todos los subflujos se envían en el mismo intervalo de tiempo y a la misma frecuencia pero por antenas diferentes. En otras palabras, se enviarán múltiples señales simultáneamente por el mismo radiocanal.

MIMO saca ventaja del multicamino de la siguiente forma: cada ruta multicamino será tratada como un canal diferente e independiente, creando así un “cable virtual” sobre el cual se transmite la señal. Cada ruta será un cable virtual, y el canal inalámbrico se comportará como un conjunto de cables virtuales. Al emplear múltiples antenas separadas espacialmente podremos aprovechar estos cables virtuales para transmitir más datos, multiplicando de esta manera el throughput (caudal efectivo). La tasa máxima por canal crecerá linealmente con el número de subflujos de datos diferentes que son transmitidos en el mismo canal. Además, debido a la diversidad de antenas, se incrementará también la distancia de cobertura.

Pero la transmisión inalámbrica no se comporta igual de bien que a través de cables, por lo que la comparación realizada no es del todo precisa del todo. Cada señal transmitida bajo la influencia de la propagación multicamino seguirá una ruta diferente, por lo que es más exacto decir que el canal inalámbrico actuará como un conjunto de cables pero con gran grado de “fuga” entre ellos. Esto ocasionará que las señales transmitidas se mezclen en alguna medida. Cada una de las N_R antenas del extremo receptor recibirá entonces una señal, fruto de la combinación de los múltiples subflujos transmitidos. El DSP del receptor, mediante algoritmos de procesamiento de señales, separará cada uno de ellos, los ordenará y los combinará, recuperando así la señal original con los datos transmitidos originalmente.

Con un esquema de transmisión MIMO conseguimos un incremento lineal en la eficiencia espectral. En consecuencia, la cobertura (en términos de distancia), la calidad (en términos de BER, Bit Error Rate, o probabilidad de error), la capacidad (referida en Bits/Hz/segundo o número de usuarios/Hz) y la tasa de bits (Bits/segundo) se verán mejoradas notablemente.

2.3.5. Aplicaciones y futuro de la tecnología MIMO

Aplicaciones de MIMO

MIMO es una tecnología orientada fundamentalmente a mejorar el rendimiento de los sistemas radio. En la actualidad existen numerosos grupos de investigación centrados en el estudio de este tipo de sistemas. Como muestra cabe destacar el interés en estandarizar las técnicas MIMO en tres grandes áreas de aplicación inalámbricas: sistemas de comunicaciones móviles de 4G, sistemas WMAN y WLANs.

MIMO en las Smart Cities

Las características de los sistemas MIMO pueden resultar muy ventajosas para las futuras redes de comunicación de las Smart Cities.

En primer lugar, se ha especificado que los sistemas MIMO funcionan en ambientes ricos en propagación multicamino como pueden ser consideradas las ciudades debido a la gran presencia de obstáculos como edificios y construcciones.

En segundo lugar, la tecnología MIMO, al utilizar una única frecuencia pero con canales ortogonales, puede enviar más datos con un mismo ancho de banda. Esto resultará ventajoso para unas ciudades del futuro cuyos servicios y aplicaciones demandarán una gran cantidad de transmisión de datos y por tanto necesitarán un aprovechamiento óptimo del ancho de banda disponible.

Además, los sistemas MIMO mejoran la fiabilidad de los sistemas radio al añadir redundancia utilizando la diversidad espacial. Esta característica será clave para las Smart

Cities que necesitaran sistemas de comunicación muy fiables para que el conjunto de su red funcione correctamente y en particular en aquellas aplicaciones que requieran robustez como las relacionadas con transportes o seguridad.

También se ha puesto de manifiesto, que la utilización de varias antenas en transmisión y en recepción puede resultar en un mayor alcance del sistema de comunicación. Esto puede ser útil para las comunicaciones de las ciudades del futuro en las que se necesite un gran alcance, puesto que estas ciudades serán de gran tamaño y deberán abastecer de comunicación a la totalidad de su superficie. Sin embargo habrá otros casos en los que las comunicaciones deberán ser más precisas y por tanto de corto alcance. En cualquier caso la flexibilidad en el alcance es una característica muy deseable en este entorno.

Podemos concluir que las características de los sistemas MIMO parecen muy adecuados para su utilización en las redes de transmisión de las futuras Smart Cities.

El futuro de MIMO

Hay importantes estudios acerca de cómo conseguir los objetivos marcados por la cuarta generación de sistemas de comunicaciones móviles. Una de las propuestas para aumentar la tasa binaria en UMTS es la utilización de múltiples antenas tanto en el Nodo-B (o estación base) como en los terminales móviles de usuario. Es por eso que MIMO emerge para satisfacer las necesidades de 4G: alta tasa de datos, alta fiabilidad y gran alcance. El grupo 3GPP ya ha previsto la utilización de MIMO-OFDM en HSOPA, estándar Pre-4G (también llamado Super3G), y esta supuesta a convertirse en una de las tecnologías base de los futuros sistemas 4G.

También ha surgido un gran interés en la aplicación de MIMO en WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) como así muestra la norma 802.16e, Mobile WiMAX. Ésta es una evolución de WiMax para dar soporte a la movilidad del usuario, y también incorpora MIMO-OFDMA [2.1].

Actualmente ha surgido el concepto de Massive MIMO (MIMO masivo) que se refiere básicamente a la utilización de un gran número de antenas tanto en el extremo transmisor como en el receptor del sistema de comunicación. Básicamente, cuantas más antenas transmisoras/receptoras tenga el sistema, se establecerán más canales ortogonales y por tanto mejor será el rendimiento del sistema en cuanto a velocidad de transmisión y fiabilidad del enlace se refiere. Sin embargo, este sistema incrementa la complejidad del hardware y aumenta el consumo energético del procesamiento de señal en ambos extremos.

2.4. Antenas Reconfigurables

2.4.1. Estado del arte de las antenas reconfigurables

La primera patente sobre antenas reconfigurables fue solicitada en 1983 por Schaubert [2.2]. En 1999, la "Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) lanzó un programa de investigación, en el que participaron doce universidades de prestigio, centros de investigación y empresas de los Estados Unidos, bajo el nombre de "Reconfigurable Aperture Program" (RECAP) con el objetivo de investigar las antenas reconfigurables, su potencial y sus posibles aplicaciones[2.3].

Las antenas reconfigurables se han estudiado durante los últimos diez años para una gran variedad de aplicaciones, pero casi todas ellas han hecho uso de algún tipo de mecanismo de conmutación. El objetivo de estas antenas es que una vez que se construyen y se instalan en cierta plataforma puedan ser reconfiguradas de forma remota sin tener que reconstruir la antena o la plataforma.

2.4.2. Definición de la tecnología de antenas reconfigurables

El concepto de “antena reconfigurable” se aplica a cualquier antena que sea capaz de variar alguna de sus características (banda de frecuencia de funcionamiento, diagrama de radiación y/o polarización) mediante la redefinición de su hardware y/o software.

Las antenas comunes funcionan en una banda de frecuencia, con una polarización y con un diagrama de radiación determinados. El concepto de “antena reconfigurable” surge de la idea de poder variar estos parámetros con el objetivo de crear antenas con mayor eficiencia, tanto energética como espectral, y que se adapten mejor al ambiente radioeléctrico.

Las antenas reconfigurables pueden clasificarse en cuatro categorías:

- Antena reconfigurable en frecuencia: estructura radiante capaz de variar su banda de frecuencia de funcionamiento. Esto se consigue variando la adaptación en impedancia de la antena.
- Antena reconfigurable en diagrama de radiación: estructura radiante capaz de sintonizar su diagrama de radiación en términos de forma o ganancia.
- Antena reconfigurable en polarización: estructura radiante capaz de variar su polarización (horizontal/vertical, \pm slant 45° , polarización circular directa o indirecta, etc.).
- Antena reconfigurable combinada: esta categoría es una combinación de las tres anteriores. Una antena puede, por ejemplo, ser reconfigurable en frecuencia y en polarización al mismo tiempo.

El hecho de poder modificar el diagrama de radiación de una antena en cada momento hace que esta aproveche al máximo su potencia, pues puede enfocar su lóbulo principal hacia el receptor al que quiere transmitir, y además le permite evitar interferencias, pues crea un nulo de radiación en la dirección de las señales no deseadas. Pudiendo variar su banda de funcionamiento, la antena aprovecha mejor el espectro de frecuencia y puede adaptarse al medio, cambiando de banda cuando esta está saturada por ejemplo. El disponer de varias opciones de polarización permite a la antena crear canales independientes, un canal por cada posible polarización, que reutilizan el mismo ancho de banda.

Las antenas reconfigurables pueden pues abordar los requisitos de un sistema de comunicación complejo ya que, mediante la modificación de su comportamiento, son capaces de adaptarse a los cambios de las condiciones tanto atmosféricas como radioeléctricas o del propio sistema. Esto hace que estas antenas sean cada vez más necesarias en los sistemas de comunicación modernos.

La reconfiguración de una antena se consigue mediante diferentes técnicas. Al diseñar una antena reconfigurable hay que plantearse tres cuestiones:

- ¿Qué propiedad reconfigurable (la frecuencia, el diagrama de radiación, o la polarización) va a ser modificada?
- ¿Cómo van a reconfigurarse los diferentes elementos radiantes de la estructura de la antena para lograr la propiedad requerida?
- ¿Qué técnica de reconfiguración minimiza los efectos negativos en la radiación/impedancia de la antena?

A continuación se elaborará una clasificación de las antenas reconfigurables y sus distintas técnicas de reconfiguración así como de las ventajas, desventajas y posibles aplicaciones de cada una de ellas [2.4].

2.4.3. Clasificación de las técnicas de reconfiguración de antenas

Se utilizan principalmente cuatro tipos de técnicas de reconfiguración para el desarrollo de las antenas reconfigurables, como muestra la figura 2.14. Las antenas basadas en sistemas electro-mecánicos RF-MEMS, diodos PIN y diodos Varactores para reorientar sus corrientes superficiales o sus circuitos de alimentación polarización, son llamadas antenas

“electrónicamente reconfigurables”. Las antenas que se basan en elementos de conmutación fotoconductores se denominan “ópticamente reconfigurables”. Las antenas llamadas “físicamente reconfigurables” funcionan alterando la estructura física de la antena [2.5]-[2.7]. Finalmente, las antenas reconfigurables pueden ser implementadas usando materiales inteligentes tales como ferritas y cristales líquidos [2.8]-[2.12].

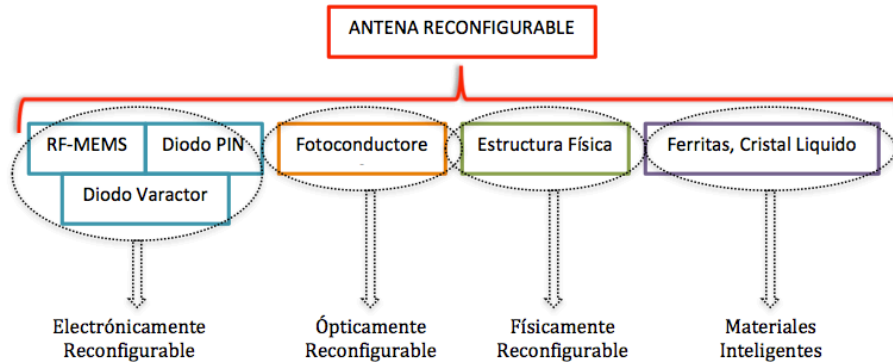


Figura 2.14. Varias técnicas utilizadas para crear antenas reconfigurables. Según clasificación descrita en [2.4].

Antenas electrónicamente reconfigurables

Una antena electrónicamente reconfigurable se basa en componentes de conmutación electrónica (RF MEMS, diodos PIN o diodos varactores) para redistribuir las corrientes superficiales y así alterar su estructura de radiación y/o su alimentación y/o adaptación.

La integración de interruptores en la estructura de la antena hace que sea más sencillo para los diseñadores alcanzar la funcionalidad de reconfiguración deseada. La utilización de estos elementos de conmutación en la estructura de la antena es tan sencilla que muchos investigadores han optado por ella a pesar de los numerosos inconvenientes que implica esta técnica de reconfiguración. Estos inconvenientes incluyen el comportamiento no lineal de los interruptores al igual que las interferencias, pérdidas y efectos negativos de las líneas de polarización utilizadas para controlar el estado de los componentes de conmutación capaces de modificar por ejemplo el diagrama de radiación de la antena.

A continuación se citan los tres tipos distintos de antenas electrónicamente reconfigurables incluyendo una ilustración. Para cada uno de ellos se emplea una categoría de reconfiguración distinta (frecuencia, diagrama de radiación o polarización) para alcanzar la función óptima correspondiente.

A. Antena electrónicamente reconfigurable basada en RF-MEMS:

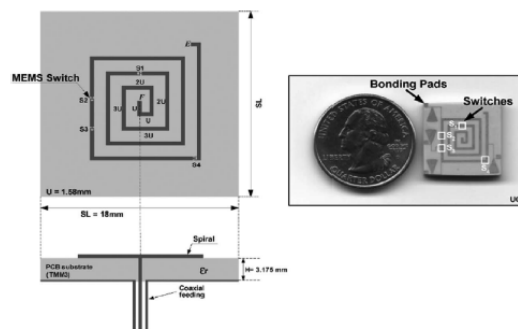


Figura 2.15. (Izquierda) Antena con conmutadores RF-MEMS reconfigurable en patrón de radiación. (Derecha) Prototipo fabricado [2.13].

B. Antena electrónicamente reconfigurable basada en Diodos PIN:

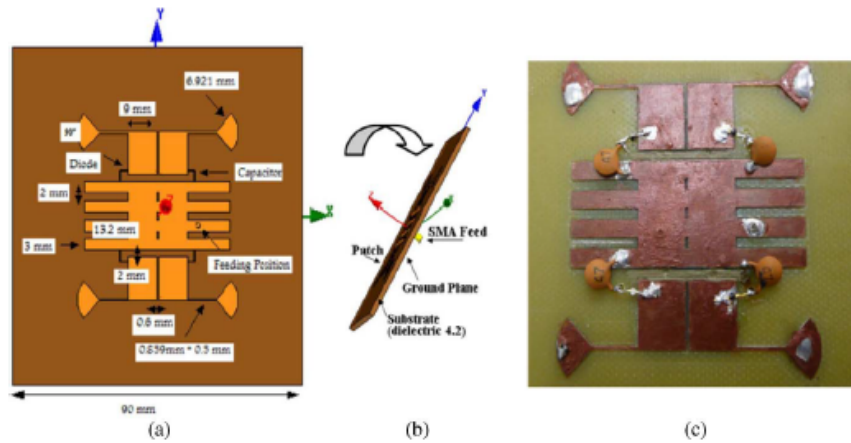


Figura 2.16. (a) Antena con Diodos PIN reconfigurable en frecuencia. (b) Vista lateral de la antena. (c) Prototipo fabricado [2.14].

C. Antena electrónicamente reconfigurable basada en diodos Varactores:

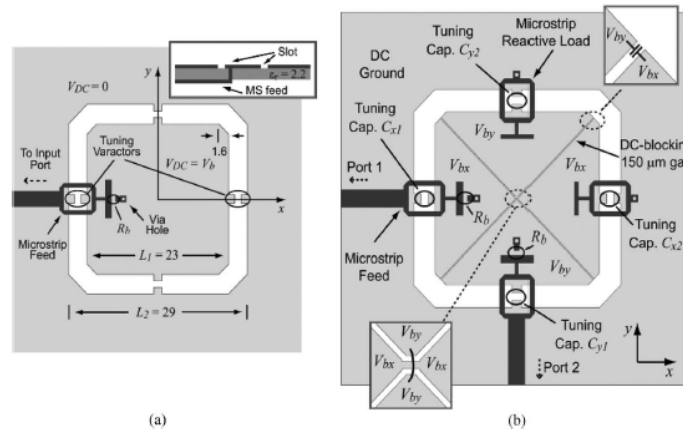


Figura 2.17. Antena con Diodos Varactores reconfigurable en polarización. (a) Antena con polarización simple. (b) Antena con polarización doble [2.15].

Antenas ópticamente reconfigurables.

Un interruptor óptico se forma cuando la luz láser incide sobre un material semiconductor, como el silicio o el arseniuro de galio por ejemplo, esto genera una excitación de los electrones desde la valencia hasta la banda conductora, creándose así una conexión conductora.

La integración de un interruptor de este tipo en la estructura de una antena con el fin de reconfigurar su comportamiento es lo que se denomina “Boptically”. El comportamiento lineal de los conmutadores ópticos, además de la ausencia de líneas sesgadas, compensa las pérdidas que este sistema genera y la necesidad de luz laser para activarlo.

El principal desafío de este tipo de antenas es el mecanismo de activación de sus interruptores. A continuación se citan tres ejemplos de antenas ópticamente reconfigurables con diferentes técnicas de activación.

- A. Antena ópticamente reconfigurable con fibra óptica no integrada como mecanismo de activación:

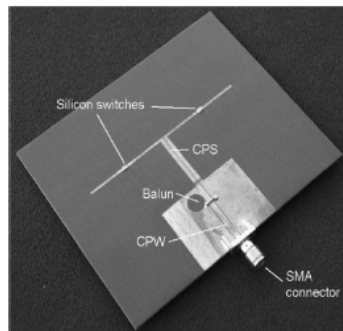


Figura 2.18. Antena ópticamente reconfigurable con fibra óptica no integrada como mecanismo de activación [2.16].

- B. Antena ópticamente reconfigurable con fibra óptica integrada como mecanismo de activación:

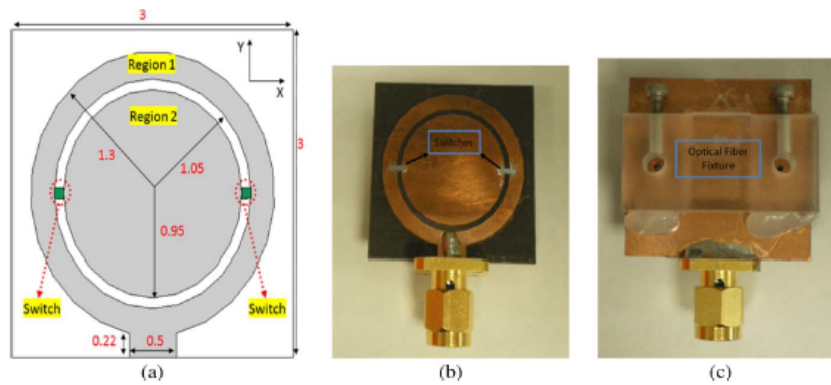


Figura 2.19. (a) Antena ópticamente reconfigurable con fibra óptica integrada como mecanismo de activación. (b) Prototipo fabricado visto desde arriba. (c) Prototipo fabricado visto desde abajo [2.17].

- C. Antena ópticamente reconfigurable con diodo láser integrado como mecanismo de activación:

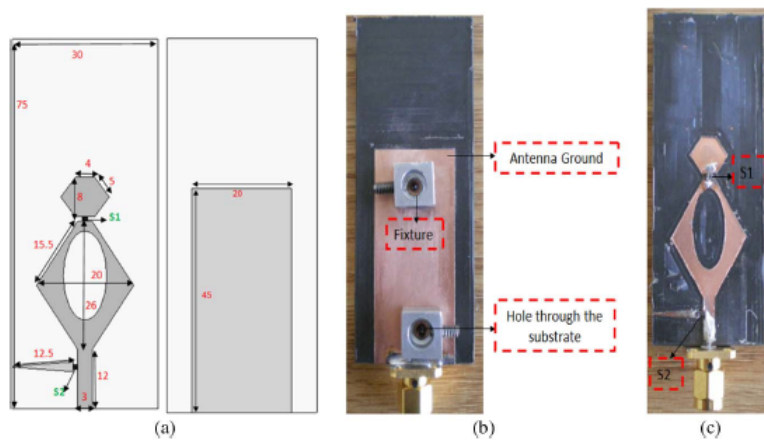


Figura 2.20. (a) Antena ópticamente reconfigurable con diodo laser integrado como mecanismo de activación. (b) Diodo laser integrado con accesorio de cobre. (c) Prototipo fabricado [2.18].

Antenas físicamente reconfigurables.

Las antenas también pueden ser reconfiguradas alterando físicamente su estructura de radiación. La re-sintonización de la antena se consigue mediante una modificación estructural de sus partes radiantes. La importancia de esta técnica es que no se basa en ningún mecanismo de conmutación, líneas de polarización o integración de diodos de fibra óptica/láser. Sin embargo, esta técnica depende de las limitaciones de reconfiguración física del dispositivo.

En la figura 2.21 se presenta una antena de parche con forma de anillo cuadrado con un modelo reconfigurable basado en una placa parásita móvil colocada dentro del anillo del parche. Se coloca un actuador por debajo de la placa parásita conductora. Un campo eléctrico provoca una expansión radial del actuador, a través de los electrodos, y esto provoca una variación en la altura de la placa móvil, como se muestra en la figura 2.21(a)-(c). Dicha variación altera significativamente el diagrama de radiación de la antena, mientras que la adaptación de impedancias se mantiene razonablemente correcta.

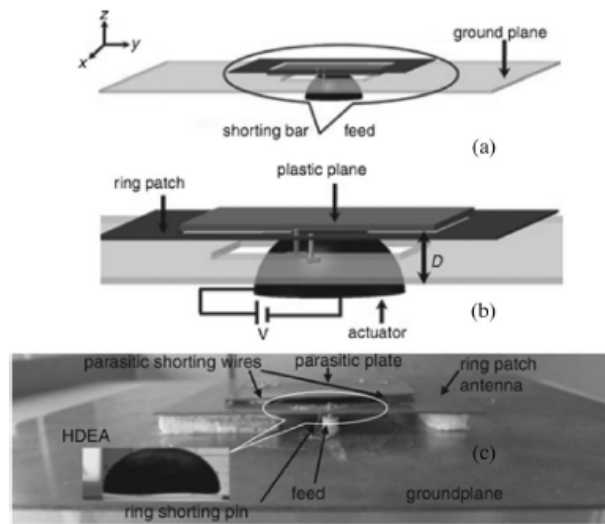


Figura 2.21. (a) Antena físicamente reconfigurable. (b) Antena después de la activación del actuador. (c) Prototipo fabricado [2.18].

Antenas reconfigurables basadas en materiales inteligentes.

Las antenas también pueden ser reconfigurables mediante una alteración de las características del sustrato utilizando materiales como cristales líquidos o ferritas. La variación en el material se consigue variando la permitividad eléctrica relativa o la permeabilidad magnética. De hecho, el cristal líquido es un material no lineal cuya constante dieléctrica varía bajo diferentes niveles de tensión debido a que sus moléculas cambian de orientación. En el caso de las ferritas, la aplicación de un campo electromagnético estático puede cambiar la permitividad/permeabilidad relativa del material.

A modo de ejemplo, la figura 2.22 muestra una antena basada en cristal líquido con un diagrama conmutable. La estructura de la antena genera un haz que puede ser electrónicamente reconfigurado variando la tensión suministrada al cristal líquido.

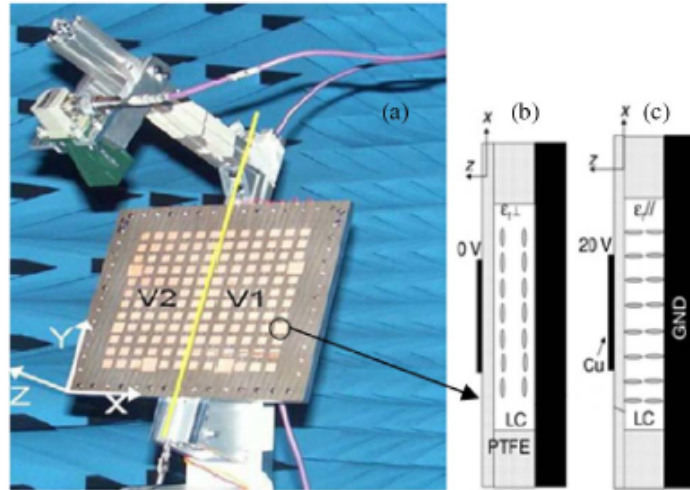


Figura 2.22. (a) Antena reconfigurable con sustrato de cristal líquido. (b) Moléculas del cristal líquido bajo una tensión de 0 V. (c) Moléculas del cristal líquido bajo una tensión de 20 V.

2.4.4. Aplicaciones y futuro de las antenas reconfigurables

Aplicaciones de las antenas reconfigurables

La capacidad de reconfiguración de las antenas se ha convertido en una importante y deseada característica en los nuevos sistemas de radiofrecuencia (RF) para las comunicaciones tanto inalámbricas como por satélite, así como para las redes de sensores y la formación de imágenes. Se está evolucionando hacia la incorporación de los dispositivos RF inteligentes, cognitivos y ágiles que pueden detectar el entorno que les rodea y adaptarse a él para así comunicarse en ambientes congestionados y dinámicos o especialmente hostiles.

La eficiencia del espectro y de la potencia de las antenas reconfigurables podría reducir en el futuro el número de componentes y por lo tanto la complejidad y el coste del hardware en comparación con la tecnología de radio actual que se basa en sistemas de comunicación incompatibles con hardware flexible.

Antenas reconfigurables en las Smart Cities

Las antenas reconfigurables presentan claras ventajas para las comunicaciones en las Smart Cities. Las ciudades del futuro serán ambientes hostiles para las comunicaciones inalámbricas debido a la gran congestión que sufrirá el espectro y a las condiciones variables del sistema. Gracias a la capacidad de reconfigurar su frecuencia de funcionamiento, las antenas reconfigurables podrán detectar las bandas congestionadas en la Smart City y cambiar de banda de funcionamiento optimizando así el aprovechamiento del espectro. El hecho de poder reconfigurar el diagrama de radiación de estas antenas es también muy ventajoso para las ciudades del futuro, pues estas tendrán en ocasiones que focalizar sus comunicaciones de forma muy precisa. En este sentido poder apuntar la radiación a esta zona, además de evitar interferencias, mejorará la calidad del servicio a la vez que optimizará la eficiencia energética. Por último, la creación de canales independientes sin utilizar más ancho de banda gracias a la reconfiguración en polarización, será muy ventajoso para las ciudades del futuro que deberán mandar la mayor cantidad de datos posibles reduciendo al máximo la saturación del espectro.

El futuro de las antenas reconfigurables

Las futuras antenas reconfigurables e inteligentes serán completamente multifuncionales y, controladas mediante software. Además tendrán capacidad de aprendizaje y podrán así detectar cambios en su entorno y reaccionar en consecuencia haciendo las modificaciones pertinentes.

Aplicaciones como la radio cognitiva se ejecutaran basadas en una nueva generación de protocolos de comunicación y sistemas de antenas. La principal ventaja de esta aplicación será el uso eficiente del espectro de frecuencias e incluso la utilización de patrones de radiación reconfigurables y diversidad de polarización con el fin de poder transmitir en frecuencias ya congestionadas.

El uso de antenas reconfigurables en canales MIMO no solo aumentara la capacidad del canal sino que también mejorara la eficiencia de dichos canales y reducirá su coste.

Finalmente, la fusión de las antenas desplegadas y las reconfigurables establecerá nuevas fronteras en el diseño de antenas para comunicaciones en el espacio.

2.5. Aplicaciones de las Smart Antennas en las Smart Cities

Una vez analizado el funcionamiento de las antenas inteligentes y entendidas sus aportaciones a las redes inalámbricas podemos definir sus aplicaciones indispensables para las ciudades del futuro.

La primera limitación que deben afrontar las Smart Cities es lograr crear una red de comunicación con suficiente capacidad para abastecer las enormes necesidades de estas ciudades del futuro.

En las Smart Cities se producirán infinidad de intercambio de datos:

- Red de sensores que deben abastecer la base de datos de la Smart City
- Servicios que la Smart City proporcionara a sus ciudadanos a través de la red
- Comunicación entre ciudadanos y entre ciudadanos y su Smart City

Estos son solo algunos de los motivos por los cuales una Smart City debe tener una comunicación constante y con una gran capacidad de transmisión y recepción de datos.

La tecnología de las antenas inteligentes parece muy beneficiosa para este propósito.

En primer lugar, las Smart antenas dan la posibilidad de re direccionar la cobertura de los sistemas de comunicación. Las Smart Cities podrían utilizar esta técnica para enfocar sus servicios a zonas de interés. Zonas donde hubiera más ciudadanos en cada momento, por ejemplo, o zonas con alta actividad en un momento dado (enfocándose hacia sensores que estén mandando información en ese momento o zonas donde se haya producido un accidente y desde la cual se estén realizando llamadas de emergencia por ejemplo).

En segundo lugar, las antenas inteligentes crean la posibilidad de ofrecer servicio a mas usuarios, lo cual es muy ventajoso si tenemos en cuenta que las Smart Cities deberán poder comunicarse con todos y cada uno de sus ciudadanos a través de sus Smartphone u otros dispositivos.

Finalmente, esta nueva tecnología mejora la calidad del servicio en las comunicaciones inalámbricas. Esto es sin duda necesario para las ciudades del futuro que no podrán funcionar sin una perfecta red de comunicación inalámbrica.

Las Smart Antennas serán pues de vital importancia para realizar con éxito todo el proceso de recopilación, transmisión, almacenamiento y análisis de datos que tendrán que llevar a cabo las Smart Cities para controlar y abastecer correctamente estas ciudades del futuro. Puede que el desarrollo de estas técnicas de antenas inteligentes sea indispensable para convertir las Smart Cities en una realidad.

2.6. Conclusiones

En el desarrollo de las telecomunicaciones, los sistemas de telefonía móvil han encontrado inconvenientes en la prestación de servicios debido al subdimensionamiento de las redes, provocando problemas de capacidad, cobertura e interferencias. Una de las alternativas actuales para solventar estos obstáculos son los “Sistemas de Antenas Inteligentes”, que proponen la superación de las barreras de la actual telefonía móvil y un máximo desarrollo del servicio.

Se trata de una tecnología que aumenta el alcance y la capacidad de las estaciones base, dando como resultado mejores servicios, mayor seguridad y beneficios tanto económicos como tecnológicos en los sistemas de comunicaciones móviles.

La antena se denomina “inteligente” debido a la utilización de algoritmos adaptativos que realiza. Los algoritmos adaptativos, favorecen a la conformación de haces, optimización de uso del espectro, procesamiento de señales, continuo aprendizaje de los sistemas, etc.

Desde el punto de vista de eficiencia energética, las antenas inteligentes son una solución tecnológica adecuada para la optimización de la potencia radiada. Con la utilización de procesadores de alta capacidad de cómputo, se posibilita la formación de haces directos, estrechos y enfocados al usuario, lo que permite disminuir las pérdidas de potencia.

Desde el punto de vista de eficiencia espectral, las Smart antenas son capaces de variar su banda de funcionamiento evitando así frecuencias saturadas y haciendo un uso más eficiente del espectro.

Las antenas inteligentes permiten un aumento de la capacidad de red en los sistemas actuales de telefonía móvil. A pesar del incremento en el número de usuarios, la interferencia entre células adyacentes no constituiría un problema, debido al enfoque y directividad de los haces radiados por el sistema. Los sistemas MIMO que establecen varios canales independientes de comunicación, permiten también aumentar la capacidad del sistema y abastecer así a más usuarios. Del mismo modo, su capacidad de reconfiguración de polarización les permite establecer varios canales de comunicación aumentando así la capacidad del sistema.

Con respecto a la calidad de los sistemas de telefonía móvil, la tecnología de antenas inteligentes mejorará las transmisiones de voz, datos y video. Reduciendo los efectos de la propagación multirayecto, e incluso sacando provecho de ella, y de las interferencias de señales, el intercambio de tráfico entre usuario y radio base se vuelve fluido. De igual manera la utilización de algoritmos de “beamforming”, receptores sensibles y técnicas de acceso al canal, permiten que la funcionalidad de los sistemas alcance un óptimo desarrollo.

Los algoritmos utilizados en la tecnología de antenas inteligentes son flexibles y pueden ser programados. Esto aporta una mejora desde el punto de vista de seguridad del servicio, la información transmitida podrá ser mejor controlada y protegida.

Parece evidente que los sistemas de las antenas inteligentes son una solución adecuada en las comunicaciones móviles y en muchas otras áreas tecnológicas. A corto plazo las telecomunicaciones tendrán una fortaleza en la utilización de esta nueva tecnología, su total desarrollo e implementación mejorará el desempeño de las actuales redes de telefonía móvil, cumpliendo los objetivos para los que fueron ideadas.

Capítulo 3:

VIGILANCIA TECNOLÓGICA

3.1. Motivación de la Vigilancia Tecnológica

La VT se ha consolidado como una actividad esencial, dada la creciente complejidad inherente a los procesos de innovación, en la gestión y aplicación de la tecnología en la empresa. Dicha complejidad hace referencia a la frecuencia con la que el conocimiento se renueva y a la gran variedad de disciplinas relevantes que son necesarias combinar para alimentar los procesos de I+D+I.

La VT, como parte de un sistema más amplio como es el de la inteligencia competitiva, consiste en la obtención, análisis, difusión y explotación de informaciones técnicas y científicas acerca de una tecnología o parte de la misma.

3.2. Metodología de la Vigilancia Tecnológica

En un primer momento, se deben acotar las aéreas a analizar, identificar las fuentes relevantes, establecer los descriptores, terminología, palabras clave y operadores de búsqueda y en definitiva la estrategia de búsqueda que permita obtener la información perseguida.

La identificación de las fuentes de información externas debe estar basada en criterios de calidad, pertinencia, objetividad y fiabilidad de las mismas.

La búsqueda y selección de información se debe realizar estableciendo una estrategia y acciones de búsqueda en las fuentes seleccionadas.

Las estrategias de búsqueda utilizadas podrán ser útiles en las fases posteriores de puesta en valor. Por ello, es conveniente incluir la estrategia seguida en la realización de la VT como se hace a continuación.

3.2.1. Bases de datos utilizadas

Las bases de datos han sido elegidas según los siguientes criterios:

- Calidad: bases de datos con amplia reputación y cuyo contenido es citado en numerosas publicaciones de todo el mundo.
- Contenido: contenido global, muy numeroso y relativo a nuestra área de búsqueda, es decir la ingeniería.

IEEE Xplore
(www.ieee.org)

La base de datos IEEE Xplore es un poderoso recurso que permite el acceso al contenido científico y técnico publicado por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y otros editores asociados. IEEE Xplore proporciona acceso Web a más de 3 millones de documentos completos de algunas de las publicaciones mas citadas del mundo en temas de ingeniería eléctrica, ciencias de la computación y la electrónica. El contenido de IEEE Xplore comprende más de 160 revistas, 1.200 resúmenes de congresos, 3.800 normas técnicas, 1.000 libros electrónicos y 300 cursos de formación. Aproximadamente 25.000 nuevos documentos son añadidos a IEEE Xplore cada mes.

INSPEC

(<http://apps.webofknowledge.com/INSPEC>)

INSPEC pertenece a la “Web of Knowledge” y proporciona un acceso a las revistas y literatura de todo el mundo en relación con la física, la ingeniería eléctrica/electrónica, la informática, la ingeniería de control, la ingeniería mecánica, la producción y fabricación de ingeniería y tecnología de la información. La base de datos Inspec contiene más de 12 millones de registros bibliográficos. Desde el punto de vista estrictamente documental Inspec se considera como uno de los sistemas mejor diseñados por su equilibrada y eficaz indexación apoyada en sus herramientas de clasificación.

Espacenet

(<http://worldwide.espacenet.com>)

Espacenet pertenece a la OEP (Organización Europea de Patentes). La Organización Europea de Patentes es una organización intergubernamental que se creó el 7 de octubre de 1977 sobre la base del Convenio sobre la Patente Europea (CPE), firmado en Múnich en 1973. Se trata de un organismo público responsable del registro y de la concesión de las distintas modalidades de propiedad industrial. Espacenet ofrece acceso gratuito a más de 80 millones de documentos de patentes de todo el mundo y contiene información sobre inventos y desarrollos técnicos desde 1836 hasta nuestros días.

3.2.2. Palabras clave utilizadas

La combinación de palabras clave ha sido elegida con el objetivo de cubrir la totalidad de los aspectos de la tecnología estudiada. Se han elegido desde combinaciones de palabras más generales, como “Smart Antenna”, hasta técnicas más específicas de la tecnología, como son “Smart Antenna spatial/polarization/angle diversity” por ejemplo. Se han tenido en cuenta los distintos tipos de antenas inteligentes que existen: antenas reconfigurables, arrays de antenas, sistemas MIMO, etc.

Siguiendo estos términos de selección, las combinaciones de palabras clave que se utilizarán en la búsqueda son las siguientes:

- Smart Antenna
- Reconfigurable antenna
- Smart antenna array
- Diversity-antenna system
- Multibeam antenna
- Multibeam MIMO antenna
- Smart antenna spatial diversity
- Smart antenna polarization diversity
- Smart antenna angle diversity

Tras obtener resultados y analizar los mismos se decidió añadir otras combinaciones de palabras clave:

- MIMO antennas diversity
- MIMO spatial multiplexing
- MIMO beamforming
- Electrical reconfigurable antenna
- Optical reconfigurable antenna
- Physical reconfigurable antenna

- Material change reconfigurable antenna

3.2.3. Periodo de tiempo estudiado

El periodo de tiempo seleccionado para el estudio de la evolución de las Smart Antennas es desde 1998 hasta 2013.

Se han llevado a cabo dos tipos de estudio temporal:

- El primero por periodos de 5 años (1998-2003; 2003-2008; 2008-2013) para analizar la evolución temporal de la tecnología.
- El segundo es un análisis más detallado sobre los últimos 5 años (2008-2013) para analizar el estado actual del arte.

3.3. Resultados de la Vigilancia Tecnológica en Base a Publicaciones Científicas

3.3.1. Análisis temporal del número de publicaciones

Base de datos utilizada: IEEE Xplore

Según la metodología presentada anteriormente se han encontrado, en la presente base de datos IEEE Xplore, un total de 10.413 publicaciones científicas relacionadas con la tecnología de Smart Antenna en el periodo de 1998-2013.

En la figura 3.1 se puede apreciar el creciente aumento del número de publicaciones durante los últimos años. Desde el periodo de 1998-2003 hasta nuestros días, este crecimiento ha sido de un 197%, pasando de 2.245 publicaciones en el periodo de 1998-2003 a 4.424 publicaciones en el periodo de 2008-2013 (figura 3.19). Queda patente que se trata de una línea de investigación en auge, ya que cada vez son más los investigadores que trabajan en la mejora de esta tecnología.

Sin embargo, también se puede observar que el aumento de las publicaciones, aunque es continuado, es más importante en el periodo de 2003-2008 con respecto a 1998-2003, donde el número de publicaciones crece un 167%, que en el de 2008-2013 con respecto a 2003-2008, donde crece un 118% (figura 3.19). Es decir, que aunque el número de publicaciones sigue aumentando, este crecimiento se ha visto ralentizado durante el último periodo estudiado (2008-2013).

Si nos fijamos ahora en la figura 3.2, podemos analizar la evolución del número de publicaciones según el tipo de búsqueda. Dependiendo de las palabras clave utilizadas para cada búsqueda obtenemos resultados diferentes. Esto nos permite hacernos una idea de los aspectos de la tecnología de Smart Antennas que más se están investigando últimamente, así como los que han experimentado una pérdida de interés, en lo que a número de publicaciones se refiere. Parece que durante el último periodo estudiado (2008-2013) el crecimiento más importante es el resultante de utilizar los términos “reconfigurable antenna”, “multibeam antenna” y “multibeam MIMO antenna”. En el caso de antenas reconfigurables, los resultados muestran que existe un gran interés por esta tecnología, al crecer en un 902% el número de publicaciones desde el periodo de 1998-2003 al periodo de 2008-2013. El número de publicaciones sobre antenas reconfigurables ha pasado de menos de 200 publicaciones en el periodo de 1998 a 2003 a casi 1.500 en el periodo de 2008 a 2013. Algo parecido, aunque con

menor cantidad de resultados, ocurre al estudiar los resultados de las tecnologías multibeam y MIMO. Estas presentan un crecimiento del 129% y del 400% respectivamente (figura 3.19). Por el contrario, otras combinaciones de palabras clave muestran un estancamiento en su crecimiento, como “Smart antenna” y “diversity-antenna system” o incluso un descenso del número de publicaciones, como son el caso de “Smart antenna array”, “Smart antenna spatial diversity”, “Smart antenna polarization diversity” y “Smart antenna angle diversity”.

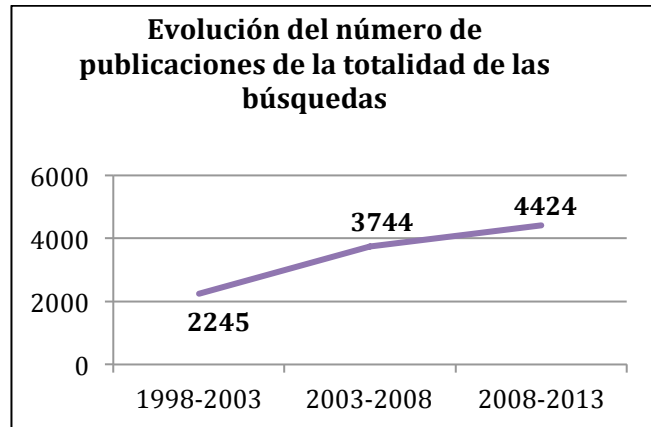


Figura 3.1. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con las Smart Antennas. Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

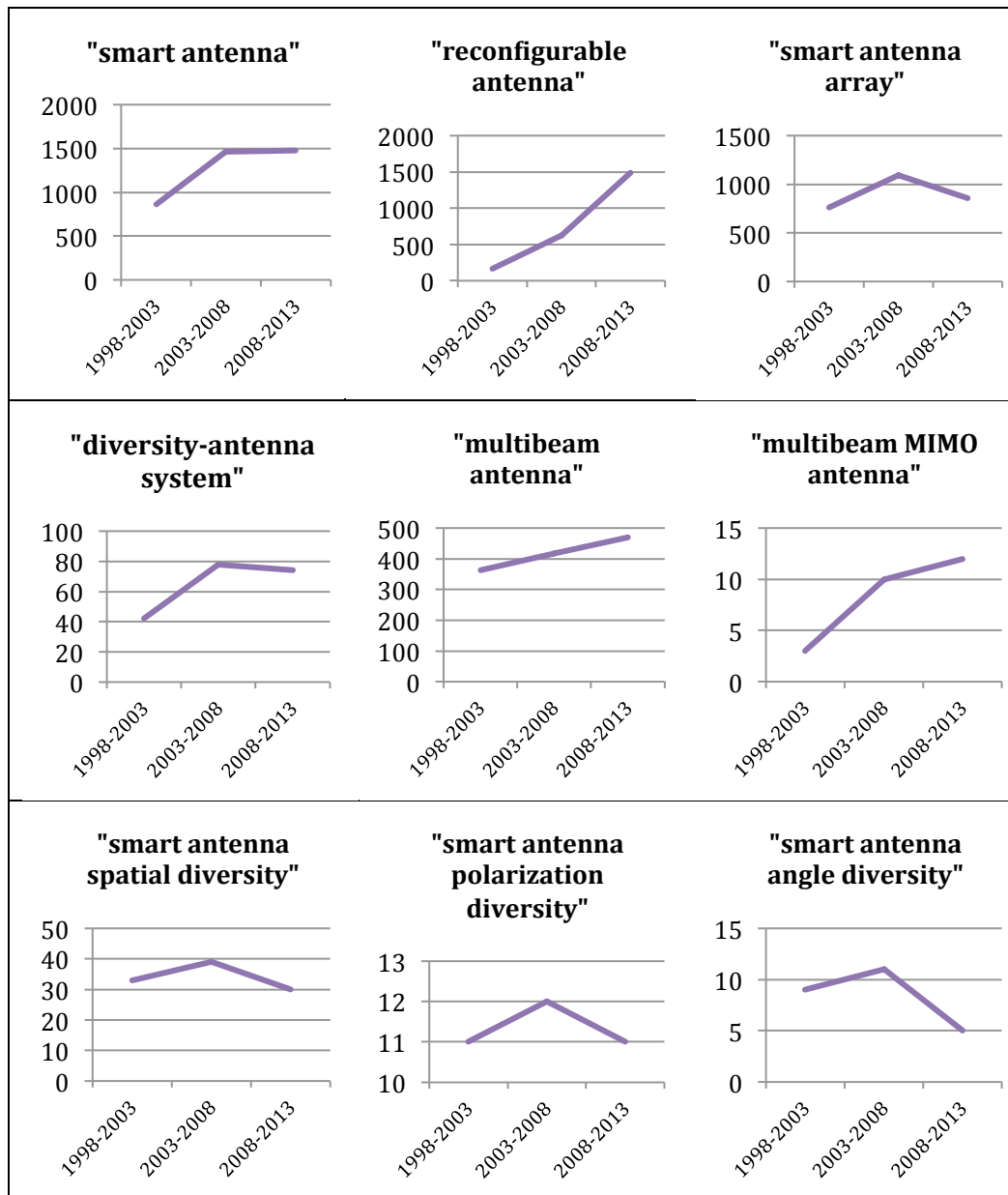


Figura 3.2. Evolución temporal del número de publicaciones según la búsqueda realizada. Resultados provenientes de cada una de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

Centrando ahora el análisis en los últimos cinco años (2008-2013) se podrá estudiar a fondo la evolución más reciente de la tecnología de las Smart Antennas (Notas*1*2). La figura 3.3 muestra que, aunque ha habido cierto crecimiento en el número de publicaciones de los últimos cinco años, este ha sido moderado. Esto indica que las antenas inteligentes no son una tecnología recién explorada, si no que se trata de una tecnología ya madura que lleva varios años evolucionando de forma constante.

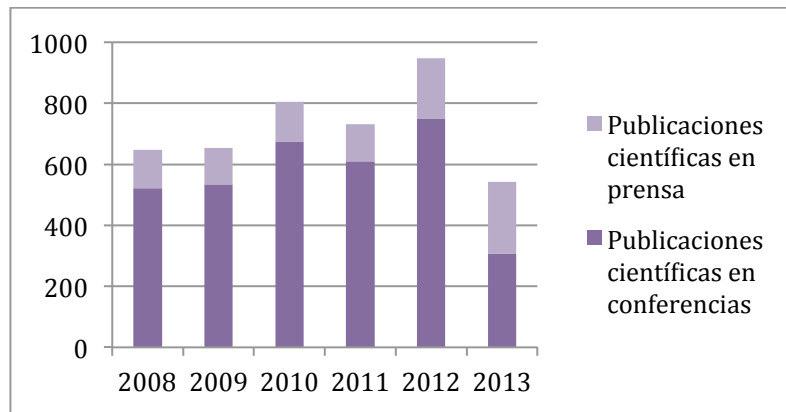


Figura 3.3. Evolución del número de publicaciones relacionadas con las Smart Antenas de los últimos cinco años según el tipo de publicación. Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

**Nota 1: Las búsquedas se llevaron a cabo antes de la finalización del año 2013 por lo que los datos de este año no son los correspondientes a la totalidad del 2013 y no deberían tenerse en cuenta.*

**Nota 2: Para el desglose de los últimos cinco años (2008-2013) no se han contabilizado las búsquedas correspondientes a las palabras clave “multibeam MIMO antenna”, “Smart antenna spatial diversity”, “Smart antenna polarization diversity” y “Smart antenna angle diversity” debido a la poca cantidad de resultados obtenidos.*

Base de datos utilizada: INSPEC

Según la metodología presentada anteriormente se han encontrado, en la presente base de datos INSPEC, un total de 26.840 publicaciones científicas relacionadas con la tecnología de Smart Antena en el periodo de 1998-2013.

En la figura 3.5 se puede apreciar que la evolución del número de publicaciones obtenida con esta nueva base de datos coincide con la anterior. En definitiva muestra que la producción de publicaciones sobre la tecnología de Smart Antenas ha aumentado un 287% en este caso en los últimos años, pero que este crecimiento ha sido más reducido entre el periodo 2003-2008 y 2008-2013 que en el periodo anterior. Durante el periodo de 1998-2003 se publicaron 4.302 documentos acerca de las antenas inteligentes mientras que en el periodo de 2003-2008 fueron 10.211 publicaciones. Esto supone un crecimiento del 237% entre ambos periodos. El crecimiento entre los periodos de 2003-2008 y 2008-2013, como hemos dicho más moderado, es de 121%, pasando de 10.211 publicaciones a 12.327 (figura 3.19).

La figura 3.6 muestra que la evolución del número de publicaciones dependiendo del tipo de búsqueda realizada también coincide con la observada en los resultados de la base de datos IEEE. El crecimiento más significativo durante el último periodo estudiado (2008-2013) sigue siendo el resultante de las búsquedas “reconfigurable antenna”, “multibeam antenna” y “MIMO antenna”. El número de publicaciones sobre antenas reconfigurables se ha multiplicado por 12, pasando de 216 publicaciones en el periodo de 1998-2003 a 1.581 publicaciones en el periodo de 2008-2013. En el caso de la tecnología MIMO, el número de publicaciones crece un 753%, habiendo obtenido 1.049 resultados de publicaciones en el

periodo de 1998-2003 y 7.896 publicaciones en el periodo de 2008-2013 (figura 3.19). Luego podemos deducir que estos dos campos de la tecnología de Smart Antennas, la tecnología MIMO y las antenas reconfigurables, son los que despiertan un mayor interés en los últimos años. Por el contrario, el resto de combinaciones de palabras clave siguen mostrando un estancamiento o incluso un decrecimiento del número de publicaciones.

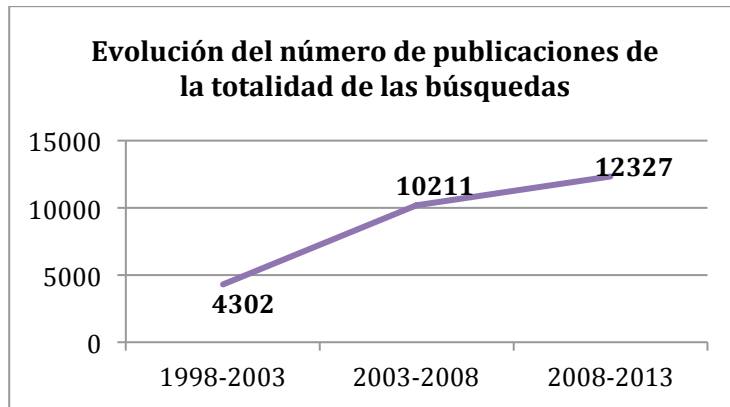


Figura 3.5. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con las Smart Antenas. Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos INSPEC.

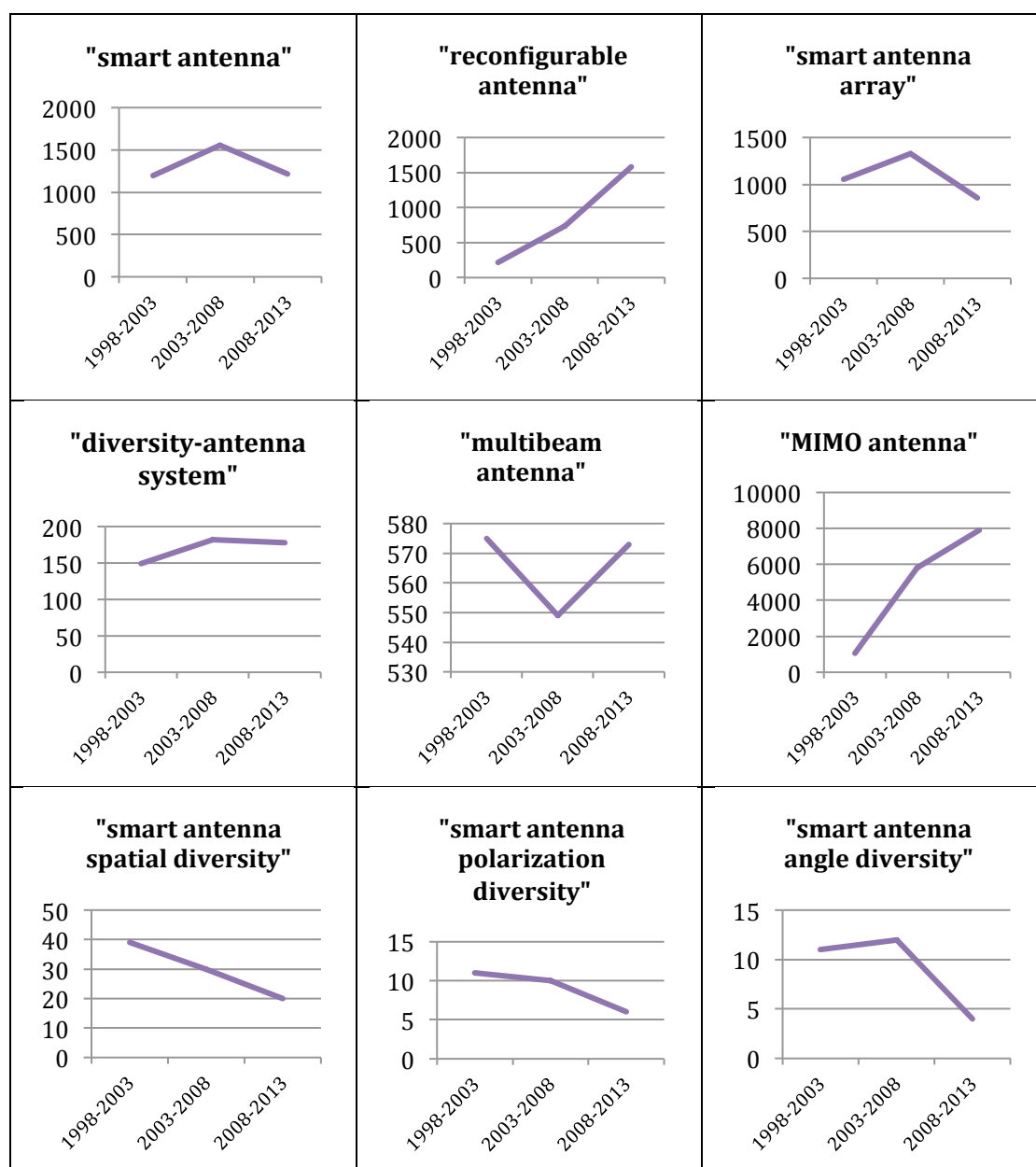


Figura 3.6. Evolución temporal del número de publicaciones según la búsqueda realizada. Resultados provenientes de cada una de las búsquedas realizadas en la base de datos INSPEC.

Con respecto a la evolución del número de publicaciones en los últimos cinco años la figura 3.7 muestra que, como en el caso de la base de datos IEEE, ha sido de carácter muy moderado o casi inexistente. Podemos afirmar que, según estos datos, las Smart Antennas es una línea de tecnología moderna cuya producción científica es estable y continúa. En este sentido, podemos decir que no se trata de una tendencia de última generación en pleno crecimiento.

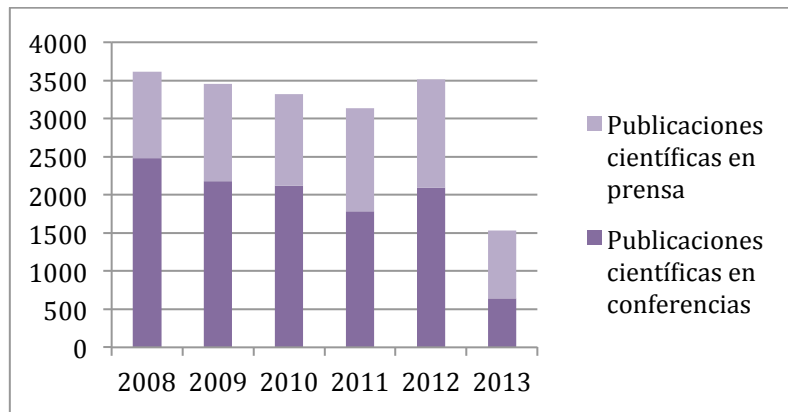


Figura 3.7. Evolución del número de publicaciones relacionadas con las Smart Antennas de los últimos cinco años según el tipo de publicación. Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

3.3.2. Análisis de las publicaciones por países de origen

Base de datos utilizada: IEEE Xplore

Para analizar el número de publicaciones correspondiente a cada país se han tenido en cuenta los resultados obtenidos para la totalidad de las búsquedas afiliadas a alguna institución durante el periodo de 2008-2013 (Nota*3). Así pues, se pretende identificar los países más activos, en cuanto a número de publicaciones se refiere, en el desarrollo de la tecnología de Smart Antennas en los últimos cinco años. Como suele ocurrir en el ámbito de las publicaciones, los organismos que mas contribuciones presentan son las universidades y centros o laboratorios de investigación.

La figura 3.4 muestra que en el reparto de las publicaciones por países, EE.UU es quien ocupa el primer lugar en cuanto a producción científica en los últimos cinco años. Las universidades estadounidenses son sin duda los organismos más activos en materia de búsqueda y desarrollo de la tecnología de Smart Antennas. Cabe destacar también la segunda posición de Alemania que parece ser un país activo en cuanto a búsqueda y evolución de esta tecnología como lo demuestran las más de 100 publicaciones afiliadas a instituciones alemanas en los últimos cinco años. China ocupa el tercer lugar lo que demuestra que este país, líder en producción tecnológica, también tiene interés por la tecnología aquí vigilada. España aparece en el noveno lugar con publicaciones afiliadas a diversos organismos, algunos de los que son más frecuentes son:

- ETSI Telecomunicación
- Universidad Politécnica de Madrid, Spain
- Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC), Castelldefels, Spain
- Dpto. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, Spain
- Ing. y Servicios Aeroespaciales, S.A. (INSA), Madrid, Spain

Cabe destacar la escasa aportación de Japón en cuanto a publicaciones científicas se refiere. Con tan solo 4 publicaciones afiliadas a este país ocupa el decimoséptimo lugar en este ranking. Esto puede explicarse si se tiene en cuenta que Japón tiene sus propias revistas científicas que no están incluidas en las bases de datos aquí empleadas.

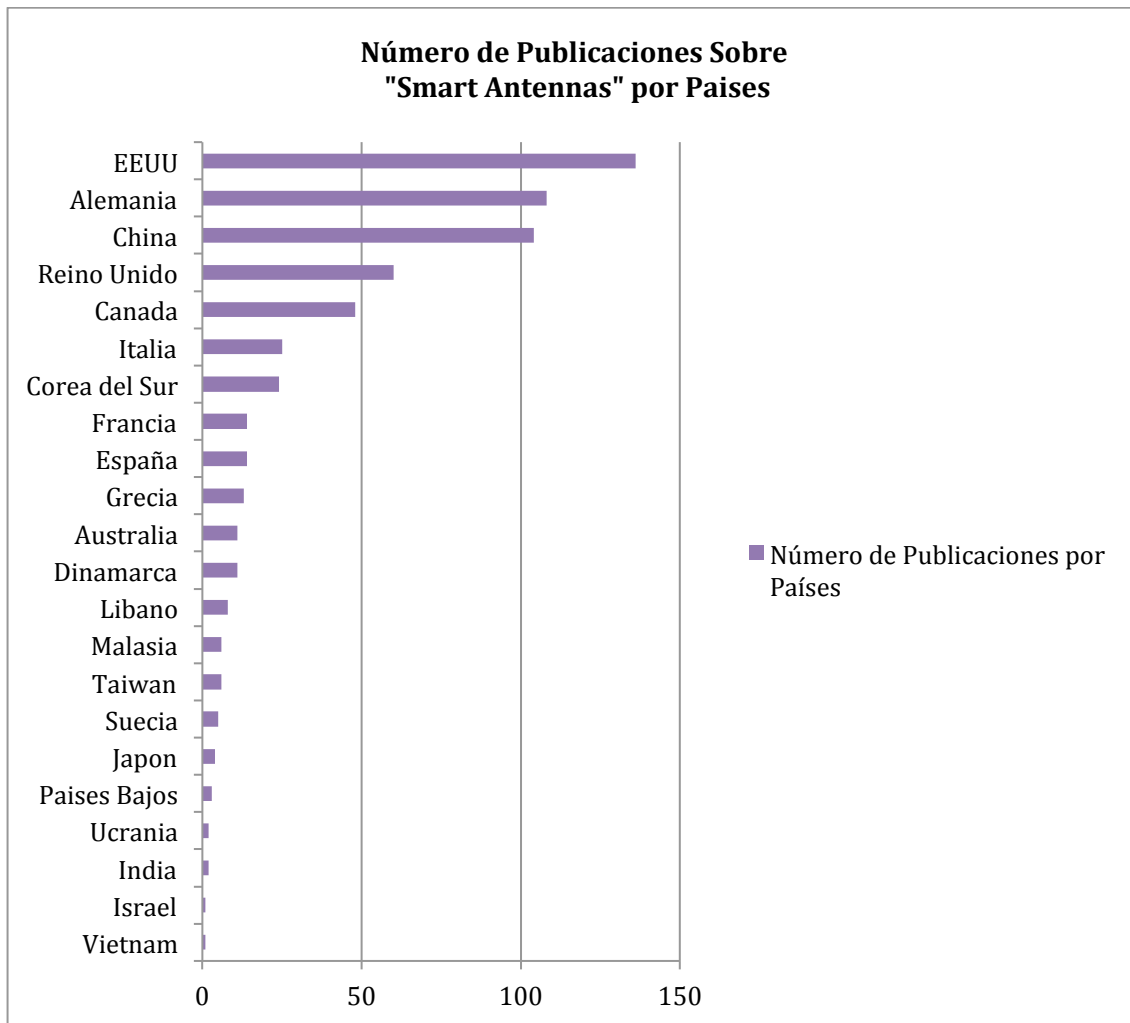


Figura 3.4. Numero de afiliaciones de publicaciones por país.

**Nota 3: La base de datos IEEE proporciona la institución a la cual está afiliada cada publicación pero no para la totalidad de las publicaciones (no se tienen datos sobre la afiliación de algunas de las publicaciones resultantes). El número de publicaciones por países se han obtenido sumando los resultados de publicaciones de cada institución según el país al que pertenecía dicha institución.*

Base de datos utilizada: **INSPEC**

En el caso de la base de datos INSPEC se proporciona de forma automática el país de origen de las publicaciones. Así pues, se ha tenido en cuenta la totalidad de los resultados de las búsquedas, durante el periodo 2008-2013, pues se tenía información de la proveniencia de todas las publicaciones. Así mismo, no se han tenido que sumar los organismos de cada país puesto que los resultados se daban por afiliación a países directamente.

La figura 3.8 muestra que, utilizando la base de datos INSPEC, el país líder en número de publicaciones sobre Smart Antennas es China, seguido de cerca por EE.UU. Podemos concluir, teniendo en cuenta los resultados de ambas bases de datos, que los países más interesados en la tecnología de Smart Antennas son EE.UU y China. Cabe destacar la importancia de Corea del Sur, Canadá y Alemania que, estando en la tercera, cuarta y quinta posición respectivamente, muestran un gran interés por la tecnología vigilada habiendo producido más de 500 publicaciones cada uno en los últimos cinco años.

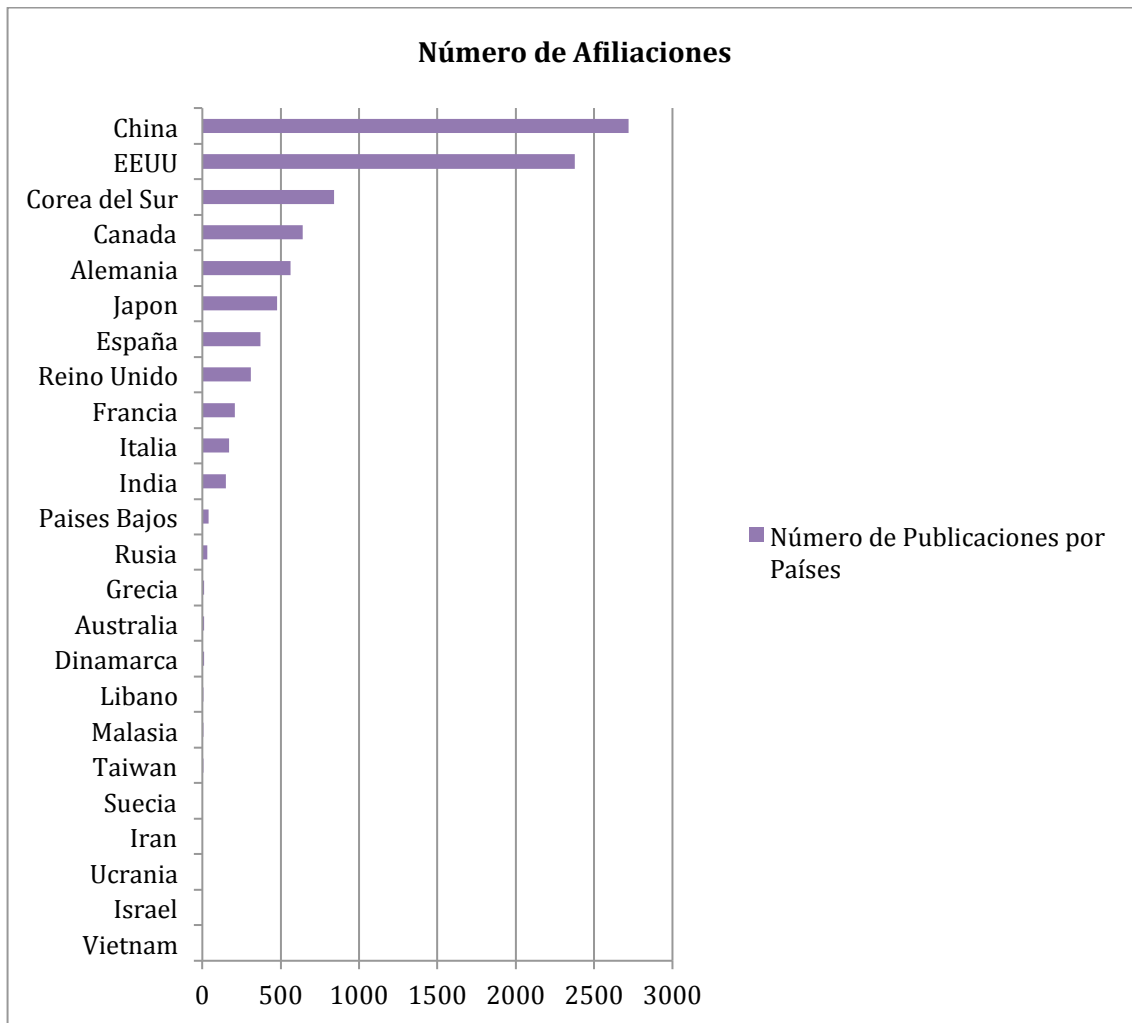


Figura 3.8. Numero de afiliaciones de publicaciones por país.

3.3.3. Recopilación de artículos

En esta sección se realiza una recopilación de algunos de los artículos más representativos encontrados en las búsquedas realizadas en las bases de datos IEEE Xplore e INSPEC. Los artículos aquí presentados han sido seleccionados tanto por su calidad como por su contenido. Se ha buscado que traten las tecnologías con mayor número de resultados, como son los sistemas MIMO y las antenas reconfigurables. Se presentaran el título, los autores y la fecha de publicación de cada artículo así como un breve resumen de su contenido.

TITULO	AUTORES	DATOS DE PUBLICACION	RESUMEN DEL ARTICULO
ARTICULOS SOBRE ANTENAS INTELIGENTES			
Smart Antennas for Wireless Svstems	Jack H. Winters AT&T Labs-Research	IEEE Personal Communications February 1998	<p>En este artículo se discute la tecnología actual y futura de las antenas de los sistemas inalámbricos y la mejora que las redes de antenas inteligentes y adaptativos pueden proporcionar. Se describen las antenas estándares celulares, las antenas inteligentes que utilizan haces fijos y las antenas adaptativas para estaciones base, así como las tecnologías de antenas para los teléfonos móviles. Se demuestra el potencial de mejora que estas antenas pueden proveer, incluida la extensión de gama, la diversidad de trayectorias múltiples, la supresión de interferencias, el aumento de capacidad y el aumento de la tarifa de datos. Se describen las cuestiones relacionadas con la incorporación de estas antenas en sistemas inalámbricos usando CDMA, GSM e IS-136 en diferentes entornos, como las zonas rurales, suburbanas y urbanas, así como en el interior. También se discuten simulaciones hechas por ordenador y resultados tanto experimentales como teóricos que muestran el potencial de esta tecnología.</p>
System Aspects of Smart-Antenna Technology in Cellular Wireless Communications	Adrian O. Boukalov and Sven-Gustav Häggman	IEEE transactions on microwave theory and techniques, vol. 48, no. 6, june 2000	<p>En este artículo, se analizan los tres principales aspectos de la tecnología de antenas inteligentes (Smart Antennas) en las comunicaciones inalámbricas, es decir, el receptor de estas antenas, el control de la red inalámbrica y la planificación con Smart Antennas. Se realiza una clasificación de los receptores de Smart Antennas y sus algoritmos con el fin de simplificar la orientación en una gran cantidad de estructuras y algoritmos. También se discute la integración de los sistemas de receptores de antenas inteligentes, teniendo en cuenta las condiciones esperadas de propagación, la movilidad del usuario y el tráfico ofrecido. A continuación se evalúan varios conceptos de planificación de redes de radio y de mejora asociadas a las antenas inteligentes. Después se describen las posibles arquitecturas de redes de radio cuando se usan Smart Antennas en los móviles, en las estaciones base, o en ambos extremos. Las funciones de control de red de radio con Smart Antennas de en diferentes capas son examinadas brevemente. Finalmente se realiza una encuesta sobre prototipos experimentales de antenas inteligentes.</p>

Exploiting Smart Antennas In Wireless Mesh Networks Using Contention Access	John A. Stine, The Mitre Corporation	IEEE Wireless Communications • April 2006	<p>Las antenas inteligentes pueden aumentar la capacidad de las redes de malla y reducir la susceptibilidad de los nodos individuales a la interceptación y a las interferencias, pero la creación de las condiciones que les permitan ser efectivas es difícil. En este artículo se ofrece una amplia revisión de las tecnologías de antenas y se identifican sus capacidades y limitaciones. Se revisan los mecanismos utilizados por los sistemas de control de acceso al medio para arbitrar el acceso. Estas revisiones permiten identificar un pequeño conjunto de condiciones que son necesarias para la explotación de una antena inteligente. A continuación, se repasan los enfoques más comunes del MAC, el sentido de la portadora de acceso múltiple, el tiempo de acceso múltiple por división, y se evalúa su idoneidad para la explotación de antenas inteligentes. Después se demuestra que no es posible crear todas las condiciones idóneas de explotación de la antena y a la vez conservar su naturaleza de contención. Se concluye que la SCR ofrece la mejor solución para la explotación de antenas inteligentes, con los beneficios adicionales de que no hay necesidad de que todos los nodos estén equipados con la misma tecnología de antenas y que las antenas inteligentes pueden ser combinadas con tecnologías de canalización para proporcionar capacidades aún mayores.</p>
ARTICULOS SOBRE SISTEMAS MIMO			
Design and Fabrication of a Dual Electrically Small MIMO Antenna System for 4G Terminals	Mohammad S. Sharawi, Yanal S. Faouri, and Sheikh S. Iqbal Electrical Engineering Department King Fahd University for Petroleum and Minerals Dhahran, 31261 Saudi Arabia	14–16 March 2011, Darmstadt, Germany	<p>La tecnología Multiple- input- multiple-output (MIMO) será utilizada por las redes móviles de cuarta generación (también llamado Long Term Evolution- LTE) para alcanzar muy altas velocidades de datos, tanto en los canales de enlace ascendente como descendente. MIMO se basa en la utilización de múltiples sistemas de antena en el terminal móvil, así como la estación base. Se requiere que dichos sistemas de antena, para encajar dentro de la terminal portátil (móvil), sean de pequeño tamaño (normalmente no más de 60 100 mm²). La integración de la antena y la miniaturización son dos grandes retos. En este artículo se propone una antena electrónica de pequeño tamaño (ESA) que se basa en la estructura de antena meandro que opera en la banda de 800 MHz de las normas celulares LTE y 3G. La antena tiene una frecuencia central de 897 MHz, su ancho de banda es de 185 MHz y su tamaño total es de 23,5 43 mm². Además, se presenta el diseño de un elemento del sistema de antena MIMO dual basado en la antena de la ESA diseñada. El sistema de antena MIMO elemento dual cubre las bandas de 760-886 MHz y ocupa un área de 40 mm² 50. Se presentan tanto los resultados de la simulación como las antenas fabricadas.</p>

MIMO Antenna system for LTE (4G)	Communication and Networking Suvarna s.Phule1 Prof. A.Y.Kazi2 Department of Electronics Engineering, A.I.S.M.S College of Engineering University Of Pune, India.	2012 1st International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics	La tecnología Multiple- input- multiple-output (MIMO) será utilizada por las redes móviles de cuarta generación (también llamado Long Term Evolution- LTE) para alcanzar muy altas velocidades de datos, tanto en los canales de enlace ascendente como descendente. MIMO se basa en la utilización de múltiples sistemas de antena en el terminal móvil, así como la estación base . Se requiere que dichos sistemas de antena, para encajar dentro de la terminal portátil (móvil), sean de pequeño tamaño (normalmente no más de 60 100 mm ²) . La integración de la antena y su miniaturización son dos grandes retos. En este artículo se muestra el trabajo que se está realizando sobre una pequeña antena electrónica (ESA), basada en la estructura de antena meandro que opera en la banda de 850 MHz de las normas celulares LTE y 3G . La antena tiene una frecuencia central de medición de 850MHz, ancho de banda de 54,6 MHz y un tamaño total de 34*22 mm ² . Además, se presenta el diseño de un elemento del sistema de antena MIMO dual basado en la antena de la ESA diseñada. El sistema de antena MIMO elemento dual cubre las bandas de 760-900 MHz y ocupa un área de 30 mm ² . Las antenas se fabrican sobre la base de resultados de la simulación. Los resultados del experimento y los resultados de la simulación son presentados y comparados en este artículo.
SAR Study of Different MIMO Antenna Designs for LTE Application in Smart Mobile Handsets	Kun Zhao, Shuai Zhang, Zhinong Ying, Senior Member, IEEE, Thomas Bolin, and Sailing He, Fellow, IEEE	IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 61, No. 6, June 2013	Este artículo se centra principalmente en la tasa de absorción específica (SAR) del elemento dual de la antena LTE MIMO en los teléfonos móviles. Se estudian cuatro diseños de antena MIMO de dos elementos (es decir, de doble antena semi-empotrada libre plana F invertida(PIFA), antena dual OG PIFA en posición paralela, y de doble OG PIFA en posición ortogonal) sometidos a cuatro puntos de frecuencia LTE típicos (0,75, 0,85, 1,9, y 2.1/2.6 GHz) cuando la longitud plana de tierra varía desde 90mm hasta 150mm. El SAR, cuando los elementos dobles operan de forma simultánea, también es estudiado a través de la SAR en PEAK ubicación espaciado relación (SPLSR) de acuerdo con el estándar de la FCC. Las simulaciones se llevan a cabo tanto en un maniquí de cabeza SAM y un fantasma plana por CST 2011, y las mediciones sobre el fantasma plana se hacen con Isar y DASY4 para verificar la exactitud de las simulaciones.

ARTICULOS SOBRE ANTENAS RECONFIGURABLES

<p>Multifunctional Reconfigurable MEMS Integrated Antennas for Adaptive MIMO Systems</p>	<p>Bedri Artug Cetiner, Morehead State University, Space Science Center Hamid Jafarkhani, Jiang-Yuan Qian, Hui Jae Yoo, Alfred Grau, and Franco De Flaviis, University of California, Irvine</p>	<p>IEEE Communications Magazine • December 2004</p>	<p>Los sistemas MIMO con tecnologías asociadas, tales como antenas inteligentes y técnicas de codificación y modulación adaptativa, aumentan la capacidad del canal, la diversidad, y la robustez de las comunicaciones inalámbricas, como han demostrado los resultados de las recientes investigaciones tanto teóricas como experimentales. Este artículo se centra en la antena de los sistemas MIMO. En particular, se hace hincapié en el importante papel de la antena reconfigurable y sus vínculos con las técnicas de codificación espacio-temporales que pueden ser empleados para una mayor explotación de la actuación teórica de los sistemas inalámbricos MIMO. Se discuten las ventajas de la antena reconfigurable en comparación con la antena inteligente tradicional. El establecimiento de las antenas reconfigurables requiere de una nueva tecnología de sistemas micro electromecánica de radiofrecuencia, que recientemente ha sido desarrollada por los autores de este artículo. Se introduce brevemente esta tecnología enfatizando sus ventajas sobre las tecnologías MEMS existentes para antenas reconfigurables. También se describe un diseño de antena reconfigurable que puede cambiar su frecuencia de operación y sus características de radiación y polarización. Por último, se presentan los resultados experimentales y teóricos de la impedancia y la caracterización del rendimiento de radiación para diferentes configuraciones de antena.</p>
<p>Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications</p>	<p>Christos G. Christodoulou, Fellow IEEE, Youssef Tawk, Steven A. Lane, and Scott R. Erwin, Senior Member IEEE</p>	<p>Proceedings of the IEEE Vol. 100, No. 7, July 2012</p>	<p>Las antenas reconfigurables, con la capacidad de irradiar más de un patrón a diferentes frecuencias y polarizaciones, son necesarias en los sistemas modernos de telecomunicaciones. Hallar los requisitos para una mayor funcionalidad (como por ejemplo búsqueda de dirección, dirección del haz, radar, control y comando) en un lugar/volumen determinado representa un reto para los sistemas receptores actuales. Las antenas reconfigurables son una solución a este problema. Este documento discute los diferentes componentes reconfigurables que se pueden utilizar en una antena para modificar su estructura y función. Estas técnicas de reconfiguración están basadas en la integración de sistemas de radiofrecuencia micro electromecánicos (RF MEMS), diodos PIN, varactores, elementos fotoconductores, o en la alteración física de la estructura de la antena radiante, o en el uso de materiales inteligentes tales como ferritas y cristales líquidos. Se presentan y discuten varios mecanismos y formas diferentes de obtener una antena reconfigurable y lograr un rendimiento óptimo. Se destacan varios ejemplos de antenas reconfigurables para aplicaciones terrestres y espaciales, como la radio cognitiva, MIMO y comunicación por satélite de múltiples entradas y múltiples salidas.</p>

3.4. Resultados de la Vigilancia Tecnológica en Base a Solicitudes de Patentes

Las empresas suelen proteger sus productos y tecnologías I+D con patentes. Por este motivo, las patentes proporcionan una información temprana de productos y tecnologías previamente a su comercialización. Estudiando las solicitudes de patentes se puede obtener un mapa tecnológico de las instituciones u organismos que más investigan o de los países más avanzados con respecto a la tecnología vigilada. Además, se trata de información técnica de dominio público que no es posible obtener de otro modo.

Cabe destacar que:

- Una patente puede tardar unos tres dos de media en ser concedida, sin embargo solo un año en ser publicada.
- En el análisis efectuado a continuación, se consideran las solicitudes de patentes publicadas, lo que incluye tanto las concedidas como las que aun están en trámite o incluso no han sido concedidas, puesto que igualmente tienen validez para el análisis que se pretende realizar.

3.4.1. Análisis temporal de las solicitudes de patentes

Base de datos utilizada: Espacenet

Según la metodología presentada anteriormente se han encontrado, en la presente base de datos Espacenet, un total de 2.847 solicitudes de patentes relacionadas con la tecnología de Smart Antenna en el periodo de 1998-2013.

En la figura 3.9 se puede apreciar el creciente aumento del número de solicitudes de patentes durante los últimos años. Desde el primer periodo de tiempo estudiado hasta la actualidad el número de solicitudes de patentes ha crecido en un 269%. Se deduce que, no solo se trata de una línea de investigación en auge, sino que también es una tecnología en la que están invirtiendo las empresas ya que cada vez son más las patentes solicitadas en relación con las Smart Antennas.

El resultado de las búsquedas sobre patentes vuelve a mostrar que el aumento en el número de solicitudes es más importante en el periodo de 2003-2008 con respecto a 1998-2003, donde crece un 230%, que en el de 2008-2013 con respecto a 2003-2008, donde el crecimiento es de 117% (figura 3.9).

Si nos fijamos ahora en la figura 3.10, podemos observar que las solicitudes de patentes están en línea con los resultados obtenidos en el apartado anterior al analizar las publicaciones científicas. Esto se traduce en que las tecnologías que despiertan más interés, en cuanto a número de patentes solicitadas se refiere, son de nuevo las antenas reconfigurable ("reconfigurable antenna") y la tecnología MIMO ("multibeam MIMO antenna"). En el caso de las antenas reconfigurables, los resultados muestran que en el periodo de 1998 a 2003 se solicitaron 23 patentes, mientras que en los últimos cinco años se han solicitado 202. Esto implica un crecimiento del 878% en el número de patentes referentes a antenas reconfigurables desde el periodo de 1998-2003 al periodo de 2008-2013. En cuanto a la tecnología MIMO, el número de solicitudes de patentes se ha multiplicado por 175 al pasar de tan solo 3 en el periodo 1998-2003 a 527 en el periodo de 2008-2013 (figura 3.10). El resto de combinaciones de palabras clave dan como resultado una evolución estable en el número de patentes o incluso una caída de este tipo de solicitudes.

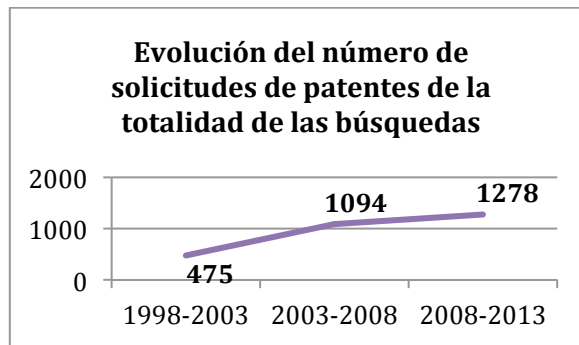


Figura 3.9. Evolución temporal del número de solicitudes de patentes relacionadas con las Smart Antenas. Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos Espacenet.

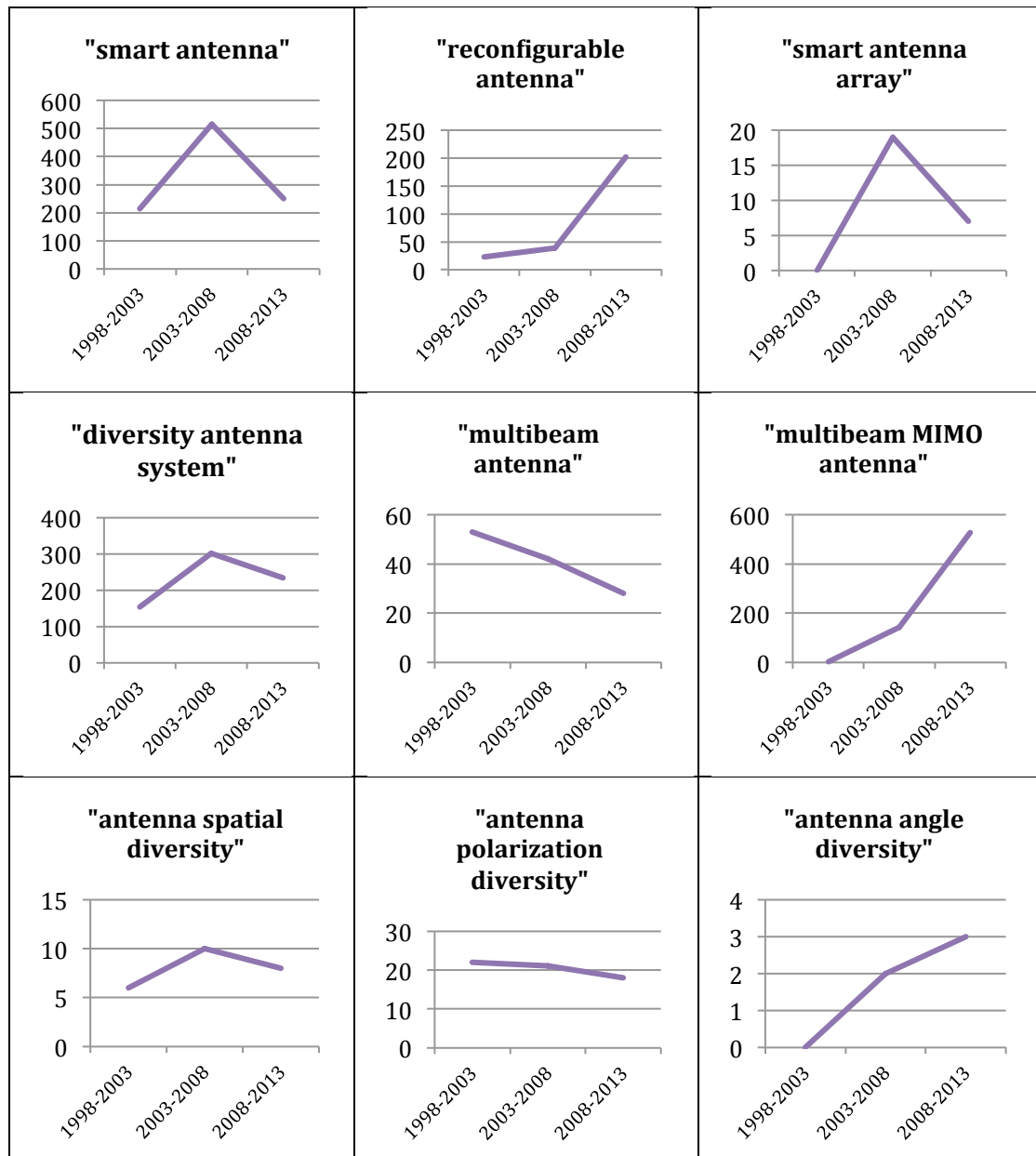


Figura 3.10. Evolución temporal del número de solicitudes de patentes según la búsqueda realizada. Resultados provenientes de cada una de las búsquedas realizadas en la base de datos Espacenet.

3.4.2. Análisis de las solicitudes de patentes por país de origen

Para analizar el número de patentes correspondiente a cada país se han tenido en cuenta los resultados obtenidos para la totalidad las búsquedas durante el periodo de 2008-2013. Las búsquedas en Espacenet para el periodo 2008-2013 dieron como resultado 1.279 solicitudes de patentes. La figura 3.11 muestra los porcentajes correspondientes a las patentes solicitadas en Estados Unidos, China, Alemania, España y el resto de países (Nota*4). Los países más activos, en cuanto a solicitudes de patentes de refiere, son Estados Unidos y China. Esto implica que son las empresas de estos dos países las que más están desarrollando la tecnología de las Smart Antennas. Esta misma figura muestra que solo el 0,3% de las patentes son alemanas y no se ha encontrado ninguna patente española. Podemos decir que las empresas del continente europeo, que si tenían importancia en los resultados de publicaciones de investigaciones, son menos activas en cuanto al desarrollo de esta tecnología o al menos en la protección de carácter industrial.

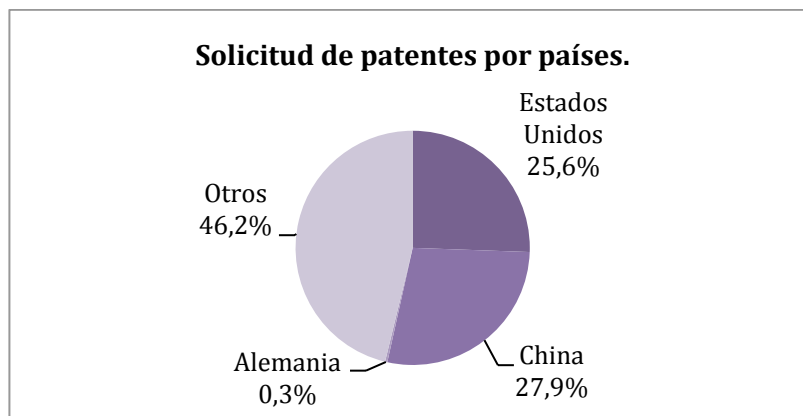


Figura 3.11. Porcentaje de solicitudes de patentes por país.

**Nota 4: Solo se han tenido en cuenta EEUU, China y Alemania ya que había que realizar una búsqueda independiente para cada país que se quisiera consultar.*

3.4.3. Recopilación de patentes

En esta sección se realiza una recopilación de las patentes más representativas encontradas en las búsquedas realizadas en la base de datos Espacenet de la OEPM. Solo se han seleccionado patentes publicadas en el 2013 para que los resultados representen la actualidad de las investigaciones sobre antenas inteligentes. Se presenta el título de la patente, los inventores, la institución desde donde se realizó dicha patente, el país de origen de esta institución y los datos de publicación.

TITULO	INVENTOR	APLICACIÓN	PAIS	DATOS DE PUBLICACION
PATENTES DE SMART ANTENNAS				
SMART ANTENNA SYSTEM USING ORIENTATION SENSORS	SHI PING [US]	HUAWEI TECH CO LTD [CN]	EEUU	WO2013155956 (A1) 24/10/13
SMART ANTENNA FOR WIRELESS COMMUNICATIONS	LOH TIAN HONG [GB] LIU HAITAO [GB]	SEC DEP FOR BUSINESS INNOVATION AND SKILLS OF HER MAJESTY S BRITANNIC GOVERNMENT [GB]	Reino Unido	EP2622684 (A1) 2013-08-07
SMART ANTENNA CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (SCDMA) SYSTEM COMMUNICATION MODULE	SHENGMAO CHI XIAOMING LI	UNIV QIQIHAR	China	CN202340224 (U) 2012-07-18
PATENTES DE SISTEMAS MIMO				
MULTI-BAND MIMO ANTENNA	DESCLOS LAURENT [US] ROWSON SEBASTIAN [US]	DESCLOS LAURENT [US] ROWSON SEBASTIAN [US]	EEUU	US2013335290 (A1) 2013-12-19
MIMO/DIVERSITY ANTENNA FOR IMPROVING THE ISOLATION OF A SPECIFIC FREQUENCY BAND	CHOI SANG-HOON [KR] KIM YOUNG-SANG [KR]	MOBITECH CORP [KR] CHOI SANG-HOON [KR]	Corea	US2013307744 (A1) 2013-11-21
MULTIPLE-INPUT MULTIPLE-OUTPUT (MIMO) ANTENNA SYSTEM	FARAONE ANTONIO [US] DINALLO CARLO [US]	MOTOROLA SOLUTIONS INC [US]	EEUU	EP2649678 (A2) 2013-10-16
PATENTES DE ANTENAS RECONFIGURABLES				
RECONFIGURABLE MULTI-BAND ANTENNA	DE LUIS JAVIER RODRIGUEZ [US] MAHANFAR ALIREZA [US]	MICROSOFT CORP [US] DE LUIS JAVIER RODRIGUEZ [US]	EEUU	US2013285863 (A1) 2013-10-31
ANTENNA ARCHITECTURE FOR MAINTAINING BEAM SHAPE IN A RECONFIGURABLE ANTENNA	NILSSON ANDREAS [SE] PERSSON PATRIK [SE]	ERICSSON TELEFON AB L M [SE]	Suecia	EP2641294 (A1) 2013-09-25
RECONFIGURABLE POLARIZATION ANTENNA	KYRIAZIDOU CHRYSOULA [GR]	BROADCOM CORP [US]	EEUU	KR20130049714 (A) 2013-05-14

3.5. Ampliación del Estudio

3.5.1. Vigilancia tecnológica de las tecnologías seleccionadas

Los resultados de las búsquedas, tanto en publicaciones científicas como en solicitudes de patentes, muestran que dentro de la tecnología de Smart Antennas las tecnologías que despiertan un mayor interés, en cuanto a número de resultados se refiere, son la tecnología MIMO y las antenas reconfigurables. Por este motivo se ha decidido llevar a cabo una búsqueda mas específica centrándose en estas dos tecnologías y en sus diferentes técnicas.

Con este fin, las nuevas combinaciones de palabras claves que van a ser utilizadas son las siguientes:

- MIMO antenna diversity
- MIMO spatial multiplexing
- MIMO beamforming
- Electrical reconfigurable antenna

- Optical reconfigurable antenna
- Physical reconfigurable antenna
- Material change reconfigurable antenna

Esta búsqueda se limitara a los últimos seis años (2008-2013) puesto que las dos tecnologías estudiadas parecen ser las de mayor actualidad.

MIMO diversidad de antena ("MIMO antenna diversity"):

- Número total de resultados de la base de datos IEEE Xplore durante el periodo 2008-2013: **2.610 documentos publicados**
- Evolución temporal del número de publicaciones:

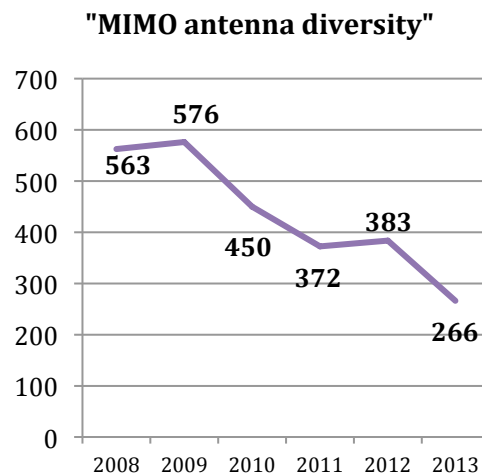


Figura 3.12. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con "MIMO antenna diversity". Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

- Principales instituciones emisoras de estas publicaciones:
 - Dept. of Electr. & Comput. Eng., Univ. of Alberta, Edmonton, AB, Canada (18 publicaciones)
 - Dept. of ECE, Indian Inst. of Sci., Bangalore, India (13 publicaciones)
 - Sch. of Eng. Sci., Simon Fraser Univ., Burnaby, BC, Canada (12 publicaciones)
 - Sch. of Electr. Eng. & Telecommun., Univ. of New South Wales, Sydney, NSW, Australia (11 publicaciones)
 - Sch. of Electr. Eng., Korea Univ., Seoul, South Korea (10 publicaciones)
 - Sch. of Electr. & Electron. Eng., Nanyang Technol. Univ., Singapore, Singapore (10 publicaciones)
 - Dept. of Electr. Eng., Princeton Univ., Princeton, NJ (10 publicaciones)
- Número total de solicitudes de patentes de la base de datos Espacenet durante el periodo 2008-2013: **2 solicitudes de patentes**
- Recopilación de solicitudes de patentes:

TITULO	INVENTOR	APLICACIÓN	PAIS	DATOS DE PUBLICACION
MIMO antenna diversity				
MIMO ANTENNAS HAVING POLARIZATION AND ANGLE DIVERSITY AND RELATED WIRELESS COMMUNICATIONS DEVICES	LI HUI [SE]; LAU BUON KIONG [SE]; ZHINONG YING [SE]	SONY ERICSSON MOBILE COMM AB [SE]	Suecia	WO2013001327 (A1) 2013-01-03
OMNIDIRECTIONAL MIMO ANTENNAS WITH POLARIZATION DIVERSITY	MORROW JARRETT D [US]; ALEVY ADAM M [US]; JOHNSON SHAWN W [US]	LAIRD TECHNOLOGIES INC [US]	EEUU	TW201017985 (A) 2010-05-01

MIMO multiplexación espacial ("MIMO spatial multiplexing"):

- Número total de resultados de la base de datos IEEE Xplore durante el periodo 2008-2013: **1.275 documentos publicados**
- Evolución temporal del número de publicaciones:

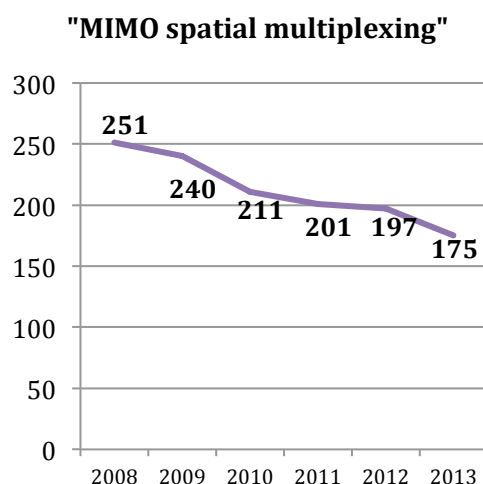


Figura 3.13. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con "MIMO spatial multiplexing". Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

- Principales instituciones emisoras de estas publicaciones:
 - Bell Labs., Alcatel-Lucent, Holmdel, NJ, USA (17 publicaciones)
 - Sch. of Electr. Eng., Korea Univ., Seoul, South Korea (16 publicaciones)
 - Dept. of Electron., Univ. of York, York, UK (12 publicaciones)
 - Dept. of Electr. & Inf. Technol., Lund Univ., Lund, Sweden (8 publicaciones)
- Número total de solicitudes de patentes de la base de datos Espacenet durante el periodo 2008-2013: **39 solicitudes de patentes**
- Recopilación de solicitudes de patentes:

TÍTULO	INVENTOR	APLICACIÓN	PAIS	DATOS DE PUBLICACION
MIMO spatial multiplexing				
HARQ IN SPATIAL MULTIPLEXING MIMO SYSTEM	GOERANSSON BO [SE] TORSNER PER JOHAN [FI]	ERICSSON TELEFON ABLM [SE] GOERANSSON BO [SE]	Suecia	US2013301620 (A1) 2013-11-14
MIMO SYSTEM WITH MULTIPLE SPATIAL MULTIPLEXING MODES	WALTON J RODNEY [US] KETCHUM JOHN W [US]	QUALCOMM INC [US]	EEUU	US2013235825 (A1) 2013-09-12

MIMO beamforming ("MIMO beamforming"):

- Número total de resultados de la base de datos IEEE Xplore durante el periodo 2008-2013: **1.991 documentos publicados**
- Evolución temporal del número de publicaciones:

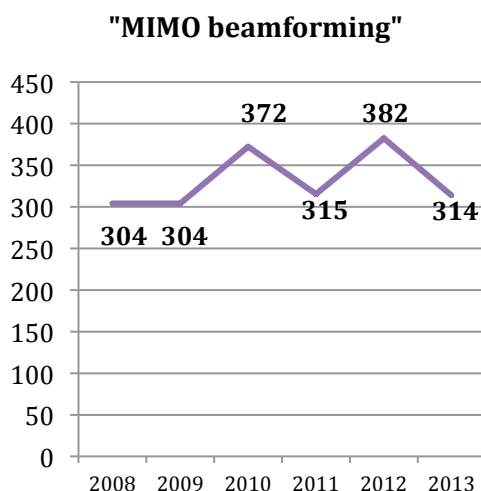


Figura 3.14. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con "MIMO beamforming". Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

- Principales instituciones emisoras de estas publicaciones:
 - Sch. of Electr. Eng., Korea Univ., Seoul, South Korea (28 publicaciones)
 - Nat. Mobile Commun. Res. Lab., Southeast Univ., Nanjing, China (23 publicaciones)
 - Dept. of Electr. & Comput. Eng., Univ. of Alberta, Edmonton, AB, Canada (16 publicaciones)
 - Dept. of Electron. Eng., Shanghai Jiao Tong Univ., Shanghai, China (14 publicaciones)
 - Centre for Wireless Commun., Univ. of Oulu, Oulu, Finland (14 publicaciones)
 - Dept. of Electr. Eng. & Comput. Sci., Univ. of California, Irvine, CA, USA (13 publicaciones)
 - Dept. of Electr. Eng., KAIST, Daejeon, South Korea (11 publicaciones)
 - Univ. of Southern California, Los Angeles, CA, USA (10 publicaciones)
 - Dept. of Commun. Eng., Univ. of Cantabria, Santander, Spain (10 publicaciones)
- Número total de solicitudes de patentes de la base de datos Espacenet durante el periodo 2008-2013: **192 solicitudes de patentes**

- Recopilación de solicitudes de patentes:

TITULO	INVENTOR	APLICACIÓN	PAIS	DATOS DE PUBLICACION
MIMO beamforming				
BEAMFORMING AND/OR MIMO RF FRONT-END	ROFOUGARAN AHMADREZA REZA [US]	BROADCOM CORP [US]	EEUU	US2013322565 (A1) 2013-12-05
MIMO BEAMFORMING-BASED SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS SYSTEM	ZHANG GUODONG [CN] PAN KYLE JUNG LIN [US]	INTERDIGITAL TECH CORP [US]	EEUU	KR20130108464 (A) 2013-10-02

Antena electrónicamente reconfigurable (“ electrical reconfigurable antenna”):

- Número total de resultados de la base de datos IEEE Xplore durante el periodo 2008-2013: **134 documentos publicados**
- Evolución temporal del número de publicaciones:

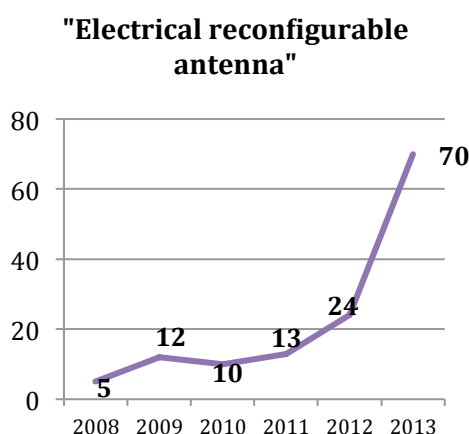


Figura 3.15. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con “Electrical reconfigurable antenna”. Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

- Principales instituciones emisoras de estas publicaciones:
 - ICT Centre, CSIRO, Epping, NSW, Australia (3 publicaciones)
 - Dept. of Electr. & Comput. Eng., Drexel Univ., Philadelphia, PA, USA (2 publicaciones)
 - Department of Electrical Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, USA (2 publicaciones)
 - Electrical and Computer Engineering, The Ohio State University, Columbus, USA (2 publicaciones)
 - Electrical and Computer Engineering Department, Notre Dame University, Louaize, Lebanon (2 publicaciones)
 - Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA), Baba Hassen, Algiers, Algeria (2 publicaciones)
 - Center of Applied Electromagnetic Systems Research, Electrical Engineering Department, The University of Mississippi University, 38677, USA (2 publicaciones)
 - Department of Electrical and Computer Engineering, San Diego State University, 5500 Campanile Drive, CA, 92182-1309, USA (2 publicaciones)

- Número total de solicitudes de patentes de la base de datos Espacenet durante el periodo 2008-2013: **0 solicitudes de patentes**

Antena ópticamente reconfigurable (“optical reconfiguration antenna”):

- Número total de resultados de la base de datos IEEE Xplore durante el periodo 2008-2013: **91 documentos publicados**
- Evolución temporal del número de publicaciones:

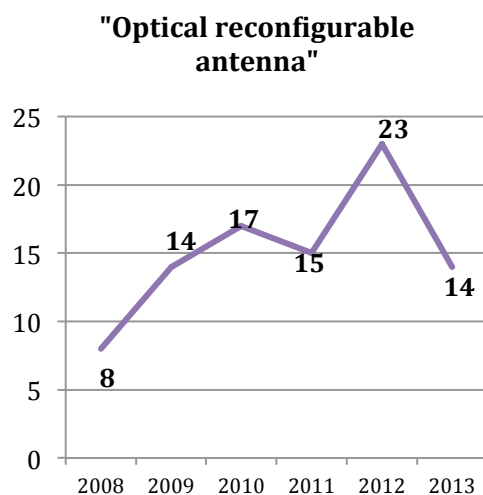


Figura 3.16. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con “Optical reconfigurable antenna”. Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

- Principales instituciones emisoras de estas publicaciones:
 - Electr. & Comput. Eng. Dept. Univ. Of New Mexico Albuquerque, NM, USA (12 publicaciones)
- Número total de solicitudes de patentes de la base de datos Espacenet durante el periodo 2008-2013: **1 solicitudes de patentes**
- Recopilación de patentes:

TITULO	INVENTOR	APLICACIÓN	PAIS	DATOS DE PUBLICACION
Optical reconfigurable antenna				
RECONFIGURABLE RADIO FREQUENCY (RF) SURFACE WITH OPTICAL BIAS FOR RF ANTENNA AND RF CIRCUIT APPLICATIONS	WOLF JEREMIAH D [US] LOWER NATHAN P [US]	ROCKWELL COLLINS INC [US]	EEUU	US7965249 (B1) 2011-06-21

Antena físicamente reconfigurable (“physical reconfigurable antenna”):

- Número total de resultados de la base de datos IEEE Xplore durante el periodo 2008-2013: **54 documentos publicados**
- Evolución temporal del número de publicaciones:

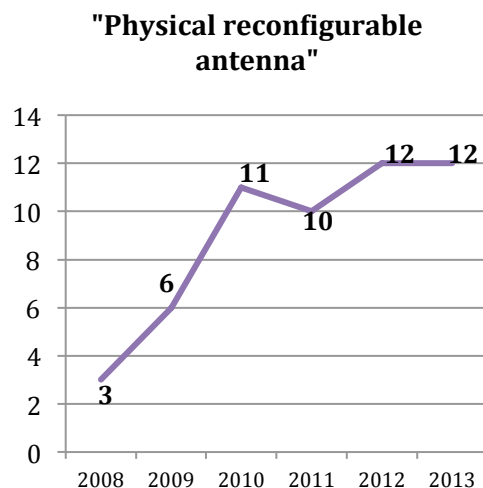


Figura 3.17. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con "Physical reconfigurable antenna". Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

- Principales instituciones emisoras de estas publicaciones:
 - Jacobs Univ. Bremen, Bremen, Germany (3 publicaciones)
 - Drexel Univ., Philadelphia, PA, USA (2 publicaciones)
 - Electr. & Comput. Eng. Dept., Univ. of New Mexico, Albuquerque, NM, USA (2 publicaciones)
- Número total de solicitudes de patentes de la base de datos Espacenet durante el periodo 2008-2013: **0 solicitudes de patentes**

Antena reconfigurable mediante materiales inteligentes ("Material change reconfigurable antenna"):

- Número total de resultados de la base de datos IEEE Xplore durante el periodo 2008-2013: **31 documentos publicados**
- Evolución temporal del número de publicaciones:

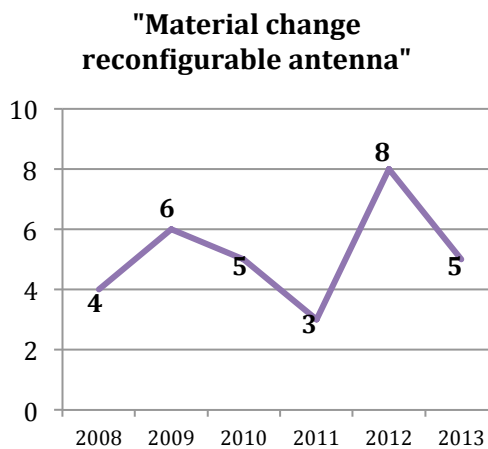


Figura 3.18. Evolución temporal del número de publicaciones relacionadas con "Material change reconfigurable antenna". Resultados provenientes de la totalidad de las búsquedas realizadas en la base de datos IEEE Xplore.

- Principales instituciones emisoras de estas publicaciones:
 - Inst. of Radioelectron., Warsaw Univ. of Technol., Warsaw (2 publicaciones)
 - Dept. of Electr. Eng., Pennsylvania State Univ., University Park, PA (1 publicación)
 - Appl. Res. Lab., Pennsylvania State Univ., State College, PA (1 publicación)
 - Dept. of Electr. Eng., Pennsylvania State Univ., University Park, PA, USA (1 publicación)
- Número total de solicitudes de patentes de la base de datos Espacenet durante el periodo 2008-2013: **0 solicitudes de patentes**

3.5.2. Análisis de los resultados

El número de resultados es más numeroso para las diferentes técnicas de la tecnología MIMO. Sumando las publicaciones de las tres técnicas de MIMO se han obtenido 5.876 publicaciones frente a las 330 publicaciones correspondientes a las cuatro técnicas de antenas reconfigurables. Esto demuestra que los sistemas MIMO están siendo muy estudiados y desarrollados por todo el mundo. Sin embargo, los resultados de las diferentes técnicas de antenas reconfigurables, aunque menos numerosos, muestran un mayor crecimiento (figuras 3.15; 3.16; 3.17 y 3.18). Esto puede indicar que, aunque la tecnología MIMO está más desarrollada puesto que lleva más años siendo estudiada, la tecnología que suscita interés y que está en pleno crecimiento actualmente es la de antenas reconfigurables.

El estudio mediante la búsqueda de solicitudes de patentes sigue esta tendencia. La totalidad de las técnicas MIMO han dado como resultado 233 solicitudes de patentes mientras que de las técnicas de antenas reconfigurables solo se ha encontrado una solicitud de patente. Se debe tener en cuenta que cuando surge una nueva tecnología primero se publican documentos sobre el estudio y la investigación de esta y más adelante surgen las solicitudes de patentes. Esto confirma pues, que la tecnología MIMO está más avanzada, puesto que se han encontrado múltiples patentes de la misma, mientras que las antenas reconfigurables ya están siendo estudiadas pero se encuentran en un estado de desarrollo menos maduro.

Cabe destacar que, analizando las principales instituciones emisoras de las publicaciones encontradas, estas tecnologías son estudiadas en todo el mundo, tanto en EEUU y Canadá, como en Corea, China e Europa. Las publicaciones provienen sobretudo de universidades pero también de laboratorios tecnológicos.

3.6. Conclusiones de la Vigilancia Tecnológica

3.6.1. Antenas inteligentes: una tecnología en desarrollo

La VT realizada sobre las antenas inteligentes muestra que se trata de una tecnología que suscita interés y que se encuentra en evolución debido a los numerosos resultados encontrados al realizar las diferentes búsquedas (10.413 resultados pertenecientes a la base de datos IEEE; 26.840 resultados utilizando la base de datos INSPEC; 2.847 solicitudes de patentes según la base de datos Espacenet) (Nota*5).

Se trata de una tecnología en desarrollo como muestra un crecimiento de 251%, desde el periodo de 1998-2003 al de 2008-2013, basado en la totalidad de las búsquedas (figura 3.19).

No se trata de una evolución de ultimísima generación ya que se ha comprobado que el periodo de máximo desarrollo de esta tecnología fue entre 2003 y 2008. En este primer periodo estudiado el crecimiento fue de un 211% mientras que el crecimiento del periodo de 2003-2008 a 2008-2013 fue de 119% (figura 3.19).

	NUMERO DE RESULTADOS 1998-2003	NUMERO DE RESULTADOS 2003-2008	NUMERO DE RESULTADOS 2008-2013	CRECIMIENTO TOTAL (desde 1998-2003 a 2008-2013)	CRECIMIENTO PRIMER PERIODO (desde 1998-2003 a 2003-2008)	CRECIMIENTO SEGUNDO PERIODO (desde 2003-2008 a 2008-2013)
	RESULTADOS DE BUSQUEDAS EN BASE DE DATOS IEEE					
TOTAL BUSQUEDAS	2245	3744	4424	197%	167%	118%
TECNOLOGIA MIMO	3	10	12	400%	333%	120%
ANTENAS RECONFIGURABLES	165	624	1489	902%	378%	239%
	RESULTADOS DE BUSQUEDAS EN BASE DE DATOS INSPEC					
TOTAL BUSQUEDAS	4302	10211	12327	287%	237%	121%
TECNOLOGIA MIMO	1048	5815	7896	753%	555%	136%
ANTENAS RECONFIGURABLES	216	734	1581	732%	340%	215%
	RESULTADOS DE BUSQUEDAS EN BASE DE DATOS ESPACENET					
TOTAL BUSQUEDAS	475	1094	1278	269%	230%	117%
TECNOLOGIA MIMO	3	144	527	17567%	4800%	366%
ANTENAS RECONFIGURABLES	23	39	202	878%	170%	518%
	MEDIA DE TODOS LOS RESULTADOS OBTENIDOS					
TOTAL BUSQUEDAS	-	-	-	251%	211%	119%
TECNOLOGIA MIMO	-	-	-	7009%	2488%	378%
ANTENAS RECONFIGURABLES	-	-	-	1927%	775%	627%

Figura 3.19. Tabla de números de resultados y porcentaje de crecimiento basada en las búsquedas de las bases de datos IEEE, INSPEC y Espacenet..

**Nota 5: Para las conclusiones del apartado de Vigilancia Tecnológica, así como para la realización de la tabla de la figura 3.19, se han tenido en cuenta la totalidad de las búsquedas de los apartados 3.2, 3.3 y 3.4. Los resultados de las búsquedas realizadas en el apartado 3.5 para las técnicas específicas de MIMO y antenas reconfigurables no se han tenido en cuenta puesto que ya se han realizado conclusiones en el propio apartado 3.5.*

3.6.2. Antenas inteligentes: una tecnología mundial

El estudio por países, tanto de las publicaciones como de las solicitudes de patentes, ha demostrado que las antenas inteligentes son una tecnología estudiada por todo el mundo. La Globalización es sin duda uno de los fenómenos que impulsa este hecho. Hoy en día, cuando se desarrolla una nueva tecnología esta se propaga por todo el mundo a gran velocidad. EEUU es quien ocupa el primer lugar en cuanto a número de publicaciones anuales, seguido muy de cerca por la segunda potencia mundial, China. Sin embargo cabe destacar países europeos como Alemania y Reino Unido y países tanto asiáticos, como Korea del Sur y Taiwan, como del continente africano, como Israel (figuras 3.4, 3.8 y 3.11).

3.6.3. Antenas inteligentes: sistemas MIMO y antenas reconfigurables

El estudio realizado sobre el estado de evolución de las antenas inteligentes ha destacado dos tecnologías por encima de las demás: tecnología MIMO y antenas reconfigurables.

Al estudiar el sistema MIMO y las antenas reconfigurables se han obtenido resultados más numerosos que con el resto de combinaciones de palabras clave. Además los análisis temporales de publicaciones y de patentes han mostrado que estas dos tecnologías son las que están siendo más desarrolladas en la actualidad.

El número de resultados con respecto a los sistemas MIMO, desde el periodo 1998-2003 al periodo 2008-2013, se ha visto multiplicado por 70, teniendo en cuenta todas las búsquedas realizadas. Esto es sin duda un claro índice de que es una tecnología en plena vía de desarrollo. Algo similar ocurre con los resultados correspondientes a las antenas reconfigurables que han sido multiplicados por 19 con respecto a los mismos periodos (figura 3.19).

Capítulo 4:

INTELIGENCIA COMPETITIVA

4.1. Introducción

La IC abarca el conjunto de conceptos, métodos y herramientas que reúnen todas la acciones coordinadas de búsqueda, obtención, tratamiento, almacenamiento y difusión de la información que sea relevante para empresas y organizaciones, individualmente o vinculadas entre sí, contempladas en el marco de una estrategia determinada [4.1].

La IC pretende otorgar a las empresas la información justa en el momento preciso. Para lograrlo la IC ha de basarse en un proceso continuo e iterativo, que siga los pasos del llamado Ciclo de la Inteligencia mostrado en la figura 4.1. Los procesos citados han de ser coherentes, continuados e interactivos. Han de inducir cambios reales en los mecanismos de toma de decisión. El desarrollo de la IC en las empresas puede afectar a todas las facetas del negocio (dirección, comercial, financiera, fabricación, organización, investigación, recursos humanos...). La IC, basada en un conjunto de métodos y herramientas estructurados, puede dar lugar a cambios importantes en el comportamiento individual y colectivo.

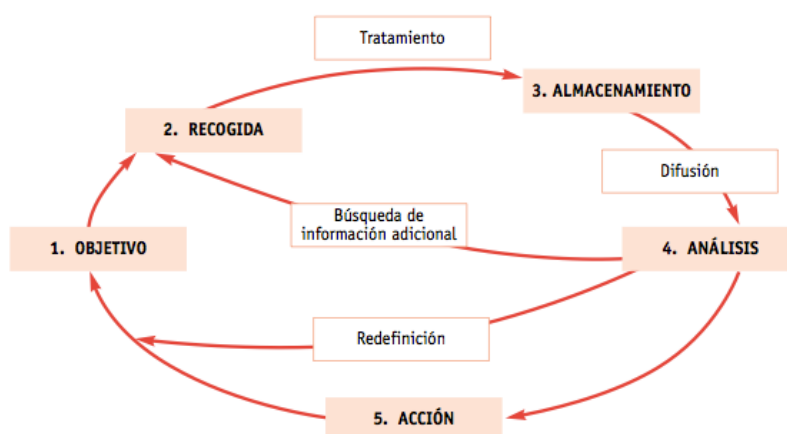


Figura 4.1. El ciclo de la inteligencia.

En este apartado se pretende estudiar el entorno socio-económico de la tecnología de las antenas inteligentes y más específicamente de los sistemas MIMO y de las antenas reconfigurables. El objetivo es proporcionar información relevante para un posible inversor de esta tecnología.

Cuando se pretende invertir en una tecnología es importante, en un primer lugar, conocer los detalles del sector al que pertenece y saber cómo está evolucionando dicho sector y hacia dónde se dirige. En este caso, las antenas inteligentes pertenecen al sector de las telecomunicaciones, por lo que se realizara un estudio detallado y cuantitativo del estado actual de dicho sector.

Conociendo el estado del sector de las telecomunicaciones, se podrá, en segundo lugar, realizar un análisis estratégico del mismo y así entender que oportunidades de desarrollo tienen las tecnologías estudiadas en el seno de su sector. Con este fin, se realizará un análisis DAFO del sector desde el punto de vista de las antenas inteligentes.

Finalmente, con el objetivo de entender si realmente se trata de una tecnología activa en el mercado y que tipos de empresas se interesan por ella, se citaran varios proyectos e inversiones que se están realizando en todo el mundo sobre las antenas inteligentes.

4.2. Metodología de la Inteligencia Competitiva

4.2.1. Establecer los objetivos del análisis

En un primer momento deben fijarse los objetivos de la IC que se va a realizar. Esto se refiere a limitar las áreas, tanto del producto como del mercado, que se pretenden estudiar.

Tecnología en la que vamos a centrar el análisis de IC

La VT realizada en el apartado anterior sobre las antenas inteligentes ha destacado que una gran parte del esfuerzo en desarrollo se centra actualmente en dos técnicas de Smart Antennas: los sistemas MIMO y las antenas reconfigurables. Ya se ha comprobado que estas dos tecnologías suscitan un gran interés en cuanto a crecimiento en el número de publicaciones científicas y en solicitudes de patentes se refiere (figura 3.19). Se puede deducir que tanto la tecnología MIMO como las antenas reconfigurables se encuentran en continua evolución y representan un punto de interés para el futuro próximo de las tecnologías inalámbricas. Por este motivo, vamos a centrar el análisis sectorial y competitivo en estas tecnologías. Estando en una fase inicial de su desarrollo comercial podrían ser una fuente de interés para empresas de la innovación que pretendan invertir o investigar en el sector de las telecomunicaciones.

Aunque el estudio de la IC pretenda centrarse en estas dos tecnologías, es importante analizar el entorno al que pertenecen, es decir el sector de las telecomunicaciones y más específicamente las comunicaciones móviles. Es complicado conseguir datos sobre la evolución económica de estas tecnologías en particular, por lo que hay que analizar el desarrollo del sector al que pertenecen y las oportunidades de desarrollo que este ofrece.

Mercado en el que vamos a centrar el análisis de IC

Para simplificar la IC se ha decidido centrar el estudio en el mercado español. Así pues, el análisis sobre el sector de las telecomunicaciones se hará sobre sus datos en España, aunque se pondrá en perspectiva con el resto del mundo. De igual manera, el estudio estratégico del sector se realizará sobre los datos de dicho sector en España. Sin embargo, los ejemplos de inversiones realizadas sobre la tecnología estudiada se buscarán en todo el mundo. Esto se debe a que estas dos tecnologías están siendo más desarrolladas en países extranjeros como EE.UU y China, mientras que en España no se encuentran aún antecedentes de este tipo de inversión.

4.2.2. Establecer las bases de información

Tan pronto como se hayan fijado las necesidades del estudio, han de orientarse los procesos de recogida, almacenamiento y análisis de la información accesible, a fin de suministrar las respuestas convenientes para facilitar la toma de decisiones y las actuaciones posteriores. Es importante fijar con antelación las bases de datos con las que se va a trabajar dado el número elevado y distintos tipos de fuentes que se pueden considerar suministrando información muy heterogénea y de fiabilidad diversa.

En este caso, se ha decidido trabajar con una base de datos muy fiable, la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMCDATA), para la obtención de datos cuantitativos del sector de telecomunicaciones y sus subsectores. Con el fin de conseguir información sobre inversiones actuales en las tecnologías estudiadas, se ha decidido utilizar páginas web de noticias económicas sobre telecomunicaciones como dailywireless, diariored o arraycomm. Finalmente, para conocer proyectos realizados o planteados en Europa se ha

consultado con la empresa de telecomunicaciones española Nokia, y se ha estudiado el nuevo programa de trabajo de la Comisión Europea.

Fuentes de información:

- Datos económicos y estadísticos:
 - ⇒ CNMCDATA (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia)
- Noticias publicadas en la web:
 - ⇒ www.wirelessiq.com
 - ⇒ www.dailywireless.org
 - ⇒ www.diariored.com
 - ⇒ www.arraycomm.com/news
- Información proporcionada por empresas consultadas:
 - ⇒ Nokia
- Programa de trabajo de la Comisión Europea 2014-2015, ICT; Horizonte 2020

4.3. Estudio Sobre el Sector de las Telecomunicaciones

4.3.1. Organización del sector y análisis del entorno

La figura 4.2 resume las principales categorías de agentes que operan en el sector de las telecomunicaciones y sus relaciones. Estas categorías pueden ser clasificadas como:

- Fabricantes de equipos
- Empresas de servicios específicos (telefonía móvil, tele mensajería, multimedia, etc.)
- Empresas de Servicios integrados

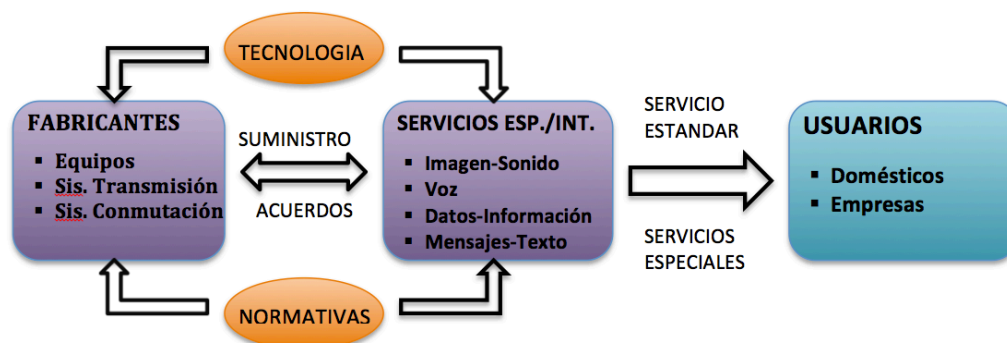
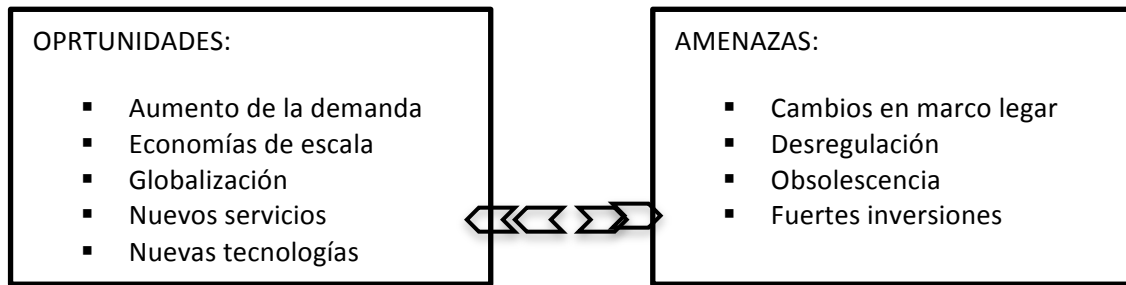


Figura 4.2. Esquema representativo de la organización del sector de telecomunicaciones.

Algunos de los condicionantes externos que afectan al entorno del sector de telecomunicaciones son:

- Normativas y reglamentos
- Creación o entrada en el mercado de nuevas empresas
- Evolución coyuntura económica

Oportunidades y amenazas del entorno:



Por otro lado, algunas de las tendencias estratégicas mas comunes para mejorar la eficiencia y competitividad de las empresas que operan en el sector son:

- Capacidad de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías
- Capacidad de inversión para afrontar renovación de equipos y prestar un nivel de servicios alto
- Diversificación de actividades para alcanzar economías de escala y reducir riesgos
- Sistemas de precios entre empresas y consumidores (ajustados y competitivos)
- Capacidad abandonar el modelo de monopolio (estatal o no) y liberalizar el mercado
- Capacidad de adaptarse a la globalización para reducir costes y riesgos y obtener economía de escala
- Poder de negociación en alianzas, fusiones y adquisiciones entre empresas. Algunos ejemplos de grupos creados de alianzas que han ido surgiendo en los últimos años son:
 - Concert:
 - ⇒ Telefónica
 - ⇒ British Telecom
 - ⇒ Portugal Telecom
 - ⇒ AT&T
 - Equant:
 - ⇒ France Telecom
 - ⇒ Deutsche Telecom
 - ⇒ Sprint
 - Unisource:
 - ⇒ PTT Telecom Netherlands
 - ⇒ Swiss PTT Telecom
 - ⇒ Royal PTT Netherlands (KPN)
 - ⇒ Telia

4.3.2. El sector de las telecomunicaciones en el mundo

La contribución de las telecomunicaciones al crecimiento mundial

Las infraestructuras de las telecomunicaciones de los países, y su uso por la sociedad, ciudadanos, empresas y Administraciones, impactan en el desarrollo económico de los mismos. Por tanto, la inversión en tecnologías de telecomunicación es uno de los factores relevantes en el crecimiento del PIB de los países como muestra la figura 4.3.

Se estima que las telecomunicaciones contribuyen con un 0,52 al crecimiento del PIB español, lejos del 1% con el que contribuyen en los EEUU [4.2].

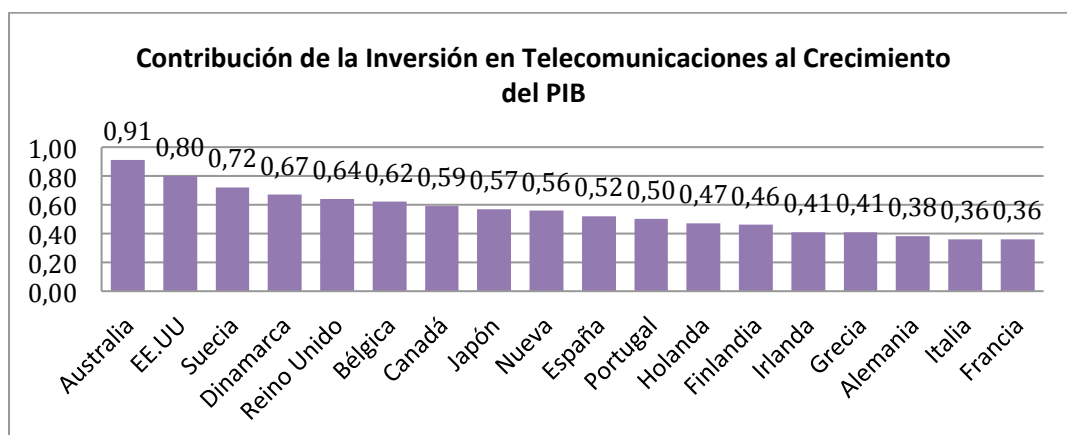


Figura 4.3. Contribución de la inversión en telecomunicaciones al crecimiento del PIB en el mundo en el periodo de 1995-2003. Fuente: EITO (The European Information Technology Observatory) 2006.

Contribución en el sector de las telecomunicaciones por países

Según Digital Planet, el gasto global en infraestructuras y tecnología de las telecomunicaciones alcanzó en 2006 una cifra superior a los 1,6 billones de dólares. La repartición global de estos gastos, así como su cuantía se muestran en la figura 4.4. Los Estados Unidos lideran el gasto con 1,2 billones de dólares, lo que supone casi el 36% del gasto mundial. Este dato es interesante puesto que las tecnologías aquí estudiadas, los sistemas MIMO y las antenas reconfigurables, pertenecen a esta categoría, puesto que se trata de tecnología para antenas, luego tecnología para infraestructuras de telecomunicaciones.

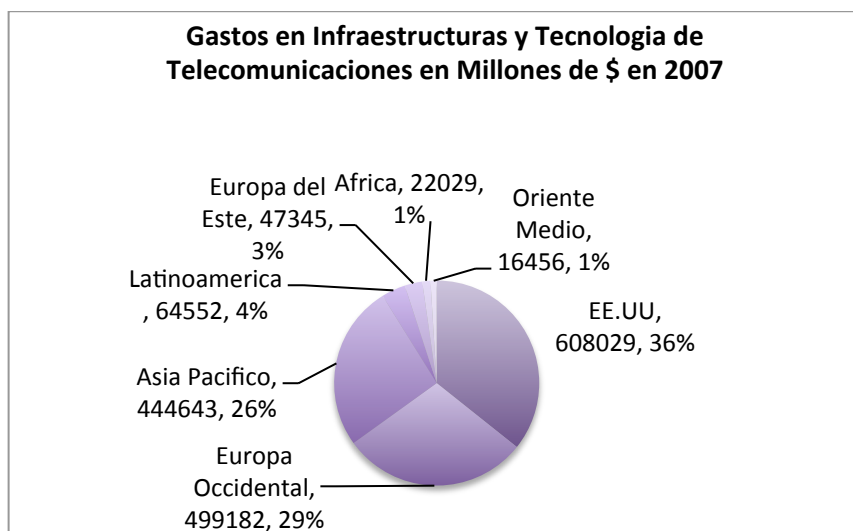


Figura 4.4. Gastos en infraestructuras y tecnología de telecomunicaciones en millones de US\$ en 2007. Fuente: Digital Planet.

En la siguiente figura 4.5 se muestra, según EITO (European Information Technology Observatory) [4.3], el porcentaje de la inversión en telecomunicaciones sobre el PIB. En España el gasto en telecomunicaciones es de 3,8% del PIB, siendo superior al de EE.UU que es de 2,7% sobre su PIB. Los países con mayor inversión en el sector de telecomunicaciones, sobre su PIB, son los países de Europa del Este, como Bulgaria, Letonia, Estonia, etc. Esto se debe a que en estos países las telecomunicaciones están menos desarrolladas y necesitan por tanto realizar enormes despliegues de infraestructuras. Es esta inversión en infraestructuras de telecomunicaciones lo que hace de estos países los mayores inversores del sector sobre el PIB. La disponibilidad de infraestructuras de comunicaciones

eficientes es uno de los requisitos indispensables para el desarrollo de la Sociedad de la Información. Los países con carencias de este tipo de infraestructuras necesitan invertir en la mejora de ellas.

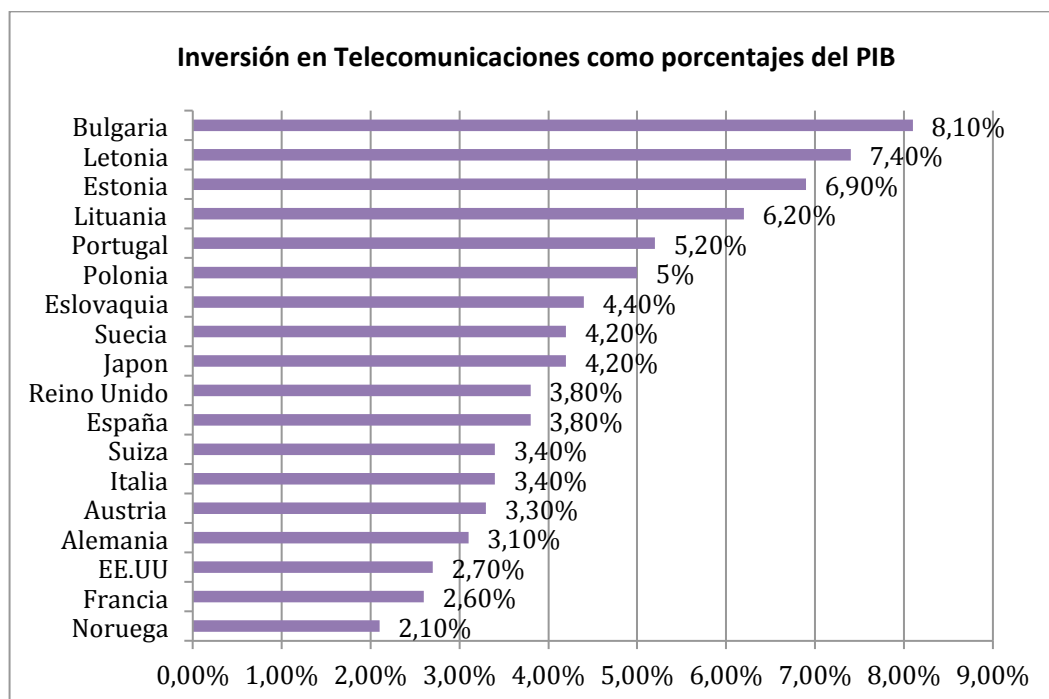


Figura 4.5. Inversión en telecomunicaciones como porcentajes de PIB en la Unión Europea y EE.UU en el año 2007. Fuente: eEspaña 2007 a partir de Eurostat (2007).

Evolución del sector de las telecomunicaciones

Según EITO, el sector de las telecomunicaciones comenzó una fase de ralentización en su crecimiento a partir del año 2006. Ese año la tasa anual de crecimiento en el sector de las telecomunicaciones fue del 3,6%, y la de los años 2007 y 2008 fue de 2,8% y 2,4% respectivamente.

Los servicios de telecomunicación se mantienen estables, mientras que el sector de equipos de telecomunicación disminuye progresivamente desde 2004.

Los cambios regulatorios y el aumento de la competencia están forzando una convergencia empresarial, que se traduce en la concentración del sector que se está produciendo por fusiones, alianzas y compras empresariales. Así, durante 2006 se fusionaron Alcatel y Lucent, creando la mayor empresa mundial de soluciones de telecomunicación. También se ha producido la unión de Siemens y Nokia en el área de redes, mientras que ATT y Bellsouth han creado la mayor operadora de los Estados Unidos.

La figura 4.6 muestra el estancamiento en el crecimiento de este sector, que se produjo en los años 2004-2006 y que se ha prolongado hasta nuestros días.

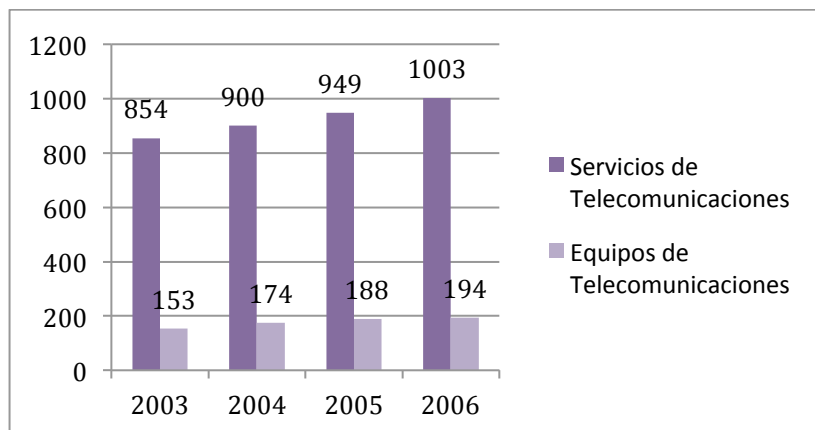


Figura 4.6. Inversiones en el mercado global de las telecomunicaciones en millones de euros entre los años 2003 y 2006. Fuente: IDATE.

4.3.3. El sector de las telecomunicaciones en España

En este apartado se exponen los datos más relevantes del sector de las telecomunicaciones en España, y más específicamente de las comunicaciones móviles que son las que más directamente tienen aplicación en este estudio, en los últimos años. El análisis de este sector se hará conforme a los datos de la CNMCDATA (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia) [4.4] que publica informes anuales y trimestrales acerca de distintos aspectos de las telecomunicaciones en España.

Resumen del sector en grandes números

Estado del sector en 2012:

- La facturación total del sector fue de 35.228,3 millones de euros, un 7,2% menos que en 2011.
- La inversión (excluidos los pagos por adquisición de espectro e incluida la inversión audiovisual) descendió el 8,9% con respecto a la registrada un año antes.
- A fin de año había 3,25 millones de accesos instalados FTTH y 9,6 millones de HFC con DOCSIS 3.0.
- Se contabilizaron más de un millón de cuádruple play (servicios de voz y datos tanto por red fija como por red móvil en una misma oferta) y más de 140.00 paquetes de quintuple oferta (que añade la TV de pago).
- Alto volumen de cambio de prestador del servicio por parte de los consumidores: 1,8 millones de portabilidades en fija y 5,2 de portabilidades móviles.

Estado de las comunicaciones móviles en 2012:

- 109,7 líneas de voz/100 habitantes y 54 suscripciones banda ancha móvil/100 habitantes (50,7 millones de líneas móviles de voz y 24,9 millones de suscripciones de banda ancha móvil).
- Disminución del parque de líneas móviles de 1,9 millones, concentrada en prepago.
- El precio de las llamadas con destino nacional (fijo o móvil) se redujo el 13,8%.
- Las suscripciones de banda ancha móvil aumentaron el 44,2% hasta los 24,9 millones.
- Los ingresos de banda ancha móvil alcanzaron los 2.766,6 millones de euros, con un aumento del 29%.

Ingresos del sector de telecomunicaciones en España

A lo largo de los años 2006 y 2007, favorecido por inercias positivas en las condiciones económicas generales, el sector de las comunicaciones electrónicas incrementó su facturación mundial. Las tendencias generales del sector fueron similares en las distintas áreas del mundo: un alto crecimiento de la telefonía móvil; un aumento de la demanda de conexiones de banda ancha; y una caída en los ingresos de los servicios de voz prestados sobre redes fijas que, sin embargo, se vio compensada por el aumento de la facturación del servicio de banda ancha. El sector de las telecomunicaciones en España también siguió esta tendencia de crecimiento durante los años 2006, 2007 y 2008 como se muestra en la figura 4.7. El incremento de ingresos del sector en España se debió principalmente a la telefonía móvil, que siguió ampliando su participación sobre el total de ingresos del sector. La telefonía móvil presentó sustanciales aumentos tanto en líneas como en tráficos, y, en 2007, el número de líneas móviles triplicó al de líneas fijas.

Como ilustra la figura 4.7, este crecimiento en los ingresos del sector terminó en España a partir del año 2008. Los ingresos, tanto de servicios minoristas como mayoristas, han disminuido desde entonces hasta 2012. Aun así se puede considerar que los ingresos de este sector siguen siendo elevados teniendo en cuenta la situación de crisis económica que vive España desde 2008.

Sin embargo, a pesar de la caída de los ingresos del sector en general, los ingresos por banda ancha móvil en España no han dejado de aumentar desde el 2005 en España. La figura 4.8 muestra que los ingresos por banda ancha en 2012 son los más elevados de la historia alcanzando los 2.766 millones de euros. Este tipo de ingresos ha aumentado un 913% desde el año 2005 hasta el 2012.

Podemos concluir, que aunque el sector de las telecomunicaciones en España está sufriendo una caída en sus ingresos desde 2008, las tecnologías más avanzadas y más nuevas, como es la banda ancha móvil, LTE, etc., siguen creciendo. Las Smart Antennas, y es especial los sistemas MIMO y las antenas reconfigurables, están orientadas a desarrollar las tecnologías más actuales del mercado. Por este motivo podemos decir que el sector específico de las tecnologías estudiadas, dentro del sector genérico de las telecomunicaciones, si está experimentando un aumento de ingresos en España.

Ingresos totales del sector y tasa de variación interanual						
(millones de euros y porcentaje)						
	Servicios minoristas		Servicios mayoristas		Total	
2000	20147	0,0%	4636	0,0%	24783	17,8%
2001	22032,81	9,4%	4837,95	4,4%	26870,76	8,4%
2002	25901,86	17,6%	6202,73	28,2%	32104,59	19,5%
2003	27803,58	7,3%	6650,11	7,2%	34453,7	7,3%
2004	29970,66	7,8%	7074,62	6,4%	37045,28	7,5%
2005	33166,87	10,7%	7547,46	6,7%	40714,34	9,9%
2006	34726,99	4,7%	7380	-2,2%	42106,99	3,4%
2007	36493,99	5,1%	7373,4	-0,1%	43867,4	4,2%
2008	36928,51	1,2%	7208,31	-2,2%	44136,82	0,6%
2009	34552,24	-6,4%	6675,68	-7,4%	41227,92	-6,6%
2010	33308,05	-3,6%	6491,19	-2,8%	39799,24	-3,5%
2011	31540,18	-5,3%	6410,33	-1,2%	37950,51	-4,6%
2012	29220,34	-7,4%	6007,96	-6,3%	35228,3	-7,2%

Figura 4.7. Ingresos totales del sector de las telecomunicaciones en España en millones de euros y tasa de variación interanual en porcentaje.

Fuente: CMNC DATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1).

Última actualización de los datos: 10/06/2013.

Ingresos totales de banda ancha móvil				
(millones de euros)				
	Banda ancha móvil	Itinerancia	Otros	Total
2005	296,79	6,32	0,00	303,11
2006	425,70	37,19	0,00	462,89
2007	704,25	78,69	0,00	782,94
2008	1.013,12	95,63	0,00	1.108,75
2009	1.362,66	123,40	10,24	1.496,31
2010	1.520,48	142,56	12,31	1.675,35
2011	1.928,32	147,30	69,28	2.144,90
2012	2.581,13	129,08	56,43	2.766,64

Figura 4.8. Ingresos totales de banda ancha móvil en España en millones de euros.

Fuente: CMNC DATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1).

Última actualización de los datos: 28/06/2013.

Penetración del sector de las telecomunicaciones en España

Desde el inicio de la liberalización del sector, el aumento en la penetración ha sido muy elevado y ha resultado en una mejora del bienestar de los consumidores españoles.

En 2007 el mayor éxito en términos de penetración lo consiguió la telefonía móvil, con 48,4 millones de líneas y la prestación de novedosos servicios. Ese año, la penetración de la telefonía móvil paso de 104,4/100 habitantes en 2006 hasta 108,9/100 habitantes (figura 4.9).

En los últimos años se ha puesto de manifiesto el crecimiento en la penetración de los servicios de redes móviles y de banda ancha, como muestra la figura 4.10. Mientras que en el 2012 la penetración de la telefonía móvil ha experimentado el primer descenso de su historia, la penetración de banda ancha no ha dejado de aumentar. Además, se han consolidado los servicios de banda ancha sobre redes 3G/UMTS.

La figura 4.11 muestra que la cobertura 3G en España es muy elevada. Todo el territorio español tiene más del 78% de acceso a estas tecnologías, y las distintas provincias tienen un 97% de penetración de 3G de media.

Podemos concluir que, por lo general, tanto la penetración de telefonía móvil como la de banda ancha en la población española no han dejado de aumentar en los últimos años. Por lo tanto se trata de un sector en expansión, y esto hace de la comunicación inalámbrica en España un posible foco para las inversiones de todo el mundo.

Tasa de penetración de la telefonía móvil sobre la población (líneas/100 habitantes)	
Líneas móviles	
2006	104,4
2007	108,9
2008	109,6
2009	111,4
2010	111,7
2011	113,9
2012	109,7

Figura 4.9. Tasa de penetración de la telefonía móvil sobre la población española. Como referencia para la cifra de población se ha tomado el dato actualizado por el INE basado en el censo de población de 2011. A 1 de enero de 2012 este dato asciende a 46.196.278 habitantes.

Fuente: CMNCDATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1).

Última actualización de los datos: 2/07/2013.

Tasa de penetración de banda ancha móvil sobre la población (líneas/100 habitantes)	
Líneas de voz vinculadas al servicio de banda ancha móvil + datacards	
2010	23,9
2011	37,5
2012	54

Figura 4.10. Tasa de penetración de banda ancha móvil sobre la población española. Como referencia para la cifra de población se ha tomado el dato actualizado por el INE basado en el censo de población de 2011. A 1 de enero de 2012 este dato asciende a 46.196.278 habitantes.

Fuente: CMNCDATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1).

Última actualización de los datos: 2/07/2013.

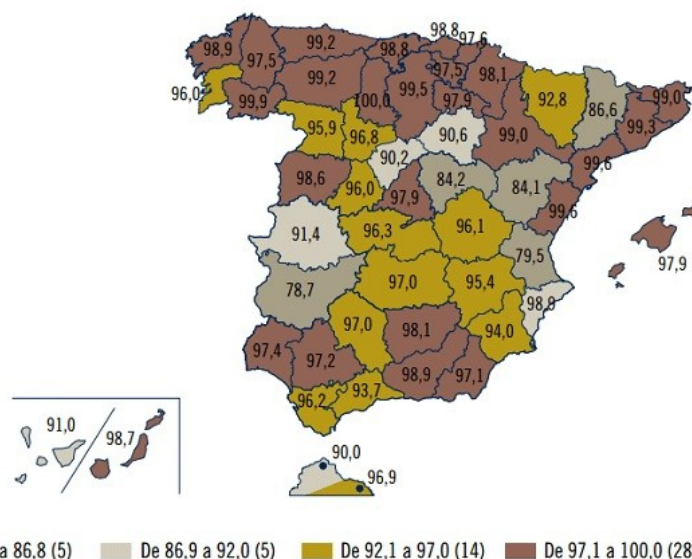


Figura 4.11. Cobertura 3G en España por provincias y expresado en porcentaje de habitantes con acceso a este tecnología.

Fuente: CET a 24/08/2013.

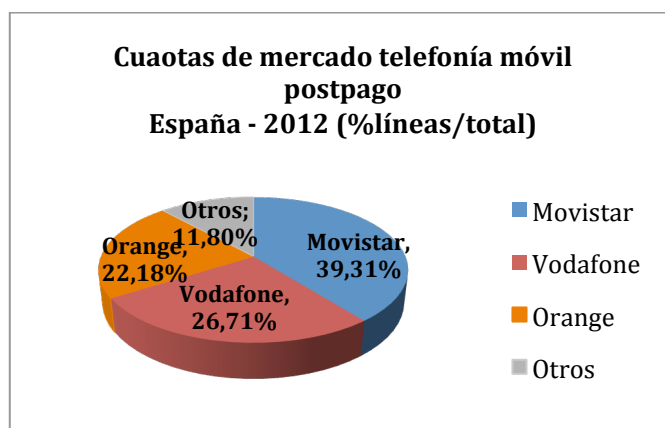
Fragmentación del sector

El sector de las telecomunicaciones en España, específicamente la telefonía móvil, está liderado por tres actores principales, Movistar, Vodafone y Orange, que actualmente se reparten el 88,2% de las líneas como muestra la figura 4.12. Sin embargo, la fragmentación del sector es más importante que en años anteriores debido a la entrada de nuevos agentes.

En el año 2006, los cambios normativos introducidos por la CMT (Comisión del Mercado de Telecomunicaciones) hicieron posible que, a finales del mismo año, se lanzasen al mercado tres operadores móviles virtuales (OMV): Euskaltel, Happy Móvil y Carrefour. A lo largo de 2007, fueron un total de seis nuevos OMV los que iniciaron sus actividades: LebaraMobile, Eroski, Pepephone, Diamóvil, R Cable y Ono io. Por lo tanto, un total de nueve OMV operaban de forma activa en el mercado de telefonía móvil a finales de 2007. Adicionalmente, en 2008, se lanzaron no menos de siete nuevos OMV (Simyo – Eplus, Masmóvil, Telecable, Jazztel, Sweno, BT y Talkout). Estos datos confirman que la iniciativa de la CMT de terminar con los monopolios en la telefonía móvil ha tenido una respuesta favorable por parte de múltiples agentes interesados en ofrecer estos servicios.

Los nuevos operadores se vieron forzados a conseguir nuevos clientes captando clientes de los operadores tradicionales del mercado. Este fenómeno pudo causar la reducción en la cuota de líneas de dos de los tres operadores tradicionales (Movistar y Orange). Vodafone fue el único operador tradicional que, en un primer momento y a pesar del aumento del número de operadores en el mercado, consiguió incrementar su cuota de líneas móviles en 2007, hasta un 30,5% del total de mercado. Sin embargo, su cuota se ha visto reducida hasta el 26,71% en 2012 (figura 4.12). Yoigo y el conjunto de operadores OMV consiguieron el 1,9% del mercado en su primer año de actividad. En el 2012, la cuota de mercado de estos nuevos operadores alcanzó el 11,8%. No obstante, Movistar continúa siendo el operador con mayor cuota de mercado, pero con una cuota del 39,31% que es inferior al 45% del total del parque de líneas móviles que tenía en 2007 (figura 4.12). Este operador consiguió su mayor cuota de mercado en el segmento negocios, con un 52,4% del total de líneas activas.

Por lo tanto, podemos concluir que, a pesar de ser un sector dominado por tres grandes compañías, el mercado de las telecomunicaciones experimenta desde 2006 una fragmentación que es muy interesante desde el punto de vista de mejorar la competencia y reducir las barreras de entrada del sector.



*Figura 4.12. Cuotas de mercado de los tres principales actores de la telefonía móvil en España en 2012. Los resultados se dan en porcentaje de líneas sobre el número total de líneas.
Fuente: CMNC DATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1)
Última actualización: 8/07/2013*

Infraestructuras de comunicación inalámbrica en España

Debido a que la tecnología analizada son las antenas inteligentes, este apartado pretende estudiar la evolución de las infraestructuras de comunicación inalámbrica en España.

La rápida evolución de las infraestructuras de comunicaciones móviles, además de estar obligado por la ley en algunos casos, es un claro ejemplo del afán de los operadores por la renovación y modernización tecnológica de las redes y los servicios de comunicaciones móviles para no perder su cuota de mercado. Esta actividad, sostenida en el tiempo como muestran los datos de inversión a lo largo de la última década, ha permitido alcanzar un enorme desarrollo de las redes móviles en España. En la actualidad los operadores afrontan la extensión de la cobertura de las redes 3G y 3,5G, así como los primeros proyectos piloto de 4G. Estos despliegues que se unen a los ya acometidos para las redes de generaciones anteriores, implican la instalación de numerosas estaciones base en el dominio público y privado, y llevan asociados un largo y complejo proceso administrativo en el que intervienen diferentes niveles de la Administración Pública lo que dificulta en gran medida el objetivo de eficiencia en el despliegue de las nuevas infraestructuras móviles.

Como se aprecia en la figura 4.13, el número de estaciones base dedicadas a la telefonía móvil ha aumentado considerablemente en los últimos años. El número de estas estaciones base en 2012 es un 237% mayor que en 2005.

Este esfuerzo inversor, encaminado a expandir las redes 3G y 4G en todo el territorio, está teniendo un efecto directo sobre el porcentaje de población cubierta por este tipo de tecnología. Así en 2007, el 68,4% de los usuarios de servicios móviles en España tuvo la posibilidad de acceder a servicios de tráfico de datos con velocidades superiores a 300 Kbps. En 2013, esta cifra aumentó hasta los 97% de los usuarios. La provincia con menor cobertura 3G, siendo esta Badajoz, tenía un acceso de 78,7% a la red 3G, y la provincia con mayor penetración de esta tecnología, siendo esta Palencia, tenía un acceso del 100% (figura 4.11). La tendencia de la cobertura de redes inalámbricas en España es claramente seguir en aumento, y por lo tanto incrementar el número de estaciones base como muestra la figura 4.14.

Estos datos indican que efectivamente se está realizando un esfuerzo inversor en cuando a cuantía y mejora de las estaciones base se refiere. Las Smart Antennas, y en especial los sistemas MIMO y antenas reconfigurables, están potencialmente en el punto de mira de las

inversiones del sector de redes inalámbricas. Cada año aumenta el número de estaciones base en España (figuras 4.13 y 4.14) y cada vez se pretenden que la tecnología de estas infraestructuras sea más eficiente. Los sistemas MIMO Y antenas reconfigurables son una alternativa atractiva para las futuras instalaciones de estaciones base en este país que evoluciona hacia las Smart Cities.

Estaciones base de redes móviles por tipo de servicio				
	Telefonía móvil	Sistemas trunking	Radio mensajería	Total
2005	48.898	218	20	49.136
2006	62.097	202	20	62.319
2007	71.014	189	0	71.203
2008	78.031	157	0	78.188
2009	82.844	257	7	83.108
2010	87.545	316	7	87.868
2011	98.533	426	7	98.966
2012	115.270	427	7	115.704

Figura 4.13. Número de estaciones base de redes móviles en España por tipo de servicio.
Fuente: CMNC DATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1).

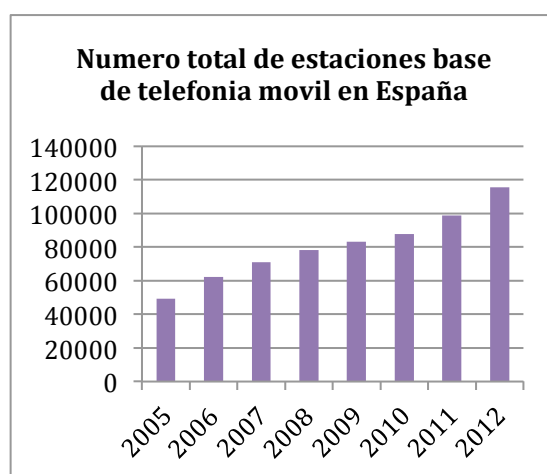


Figura 4.14. Número total de estaciones base de telefonía móvil en España.
Fuente: CMNC DATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1).

Inversiones en el sector de las telecomunicaciones en España

Las inversiones en el sector de las telecomunicaciones en España comenzó un descenso en el año 2007 debido a la crisis económica que llegó al país en esa época (figura 4.15). En 2007 se invirtieron 5.788,02 millones de euros en telecomunicaciones en España y en 2009 esta cifra había descendido a los 4.276,94 millones de euros (figura 4.15). Sin embargo, el volumen de inversión total en el sector inició una tendencia al alza en 2010. En 2011 se

registraron 5.919 millones de euros de inversión total, incluidos los operadores del segmento audiovisual, una cifra superior en un 32,3% a la de 2010 (figura 4.15). Aunque en 2012 las inversiones volvieron a bajar, se pronostica que a partir de 2013 esta cifra continuara con la tendencia alcista adoptada en 2010.

Prestando atención a las inversiones más recientes por operadores, ilustradas en la figura 4.16, observamos que en el año 2011 Movistar y Orange aumentaron sus inversiones en una tasa cercana al 150%, y Ono en una cercana al 20%. Yoigo aumentó sus inversiones un 84%, y otros operadores como Euskaltel ampliaron sus inversiones alrededor de un 30%. Por otro lado, Telefónica España aumentó su inversión apenas un 0,8% y Vodafone mostró una reducción del 8,14%. La tendencia general es que los principales operadores españoles, Telefónica, Movistar, Vodafone y Orange, reducen cada año sus inversiones en telecomunicaciones puesto que ya disponen de una posición privilegiada en el sector. Sin embargo, los nuevos operadores, como Ono, Yoigo y Euskaltel, ven crecer sus inversiones en el mercado de las telecomunicaciones cada año. Esto apoya la idea de que ese sector se está fragmentando poco a poco.



Figura 4.15. Inversión total en el sector de las telecomunicaciones en España en millones de euros.

Fuente: CMNCDATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1)

Última actualización: 11/06/2013

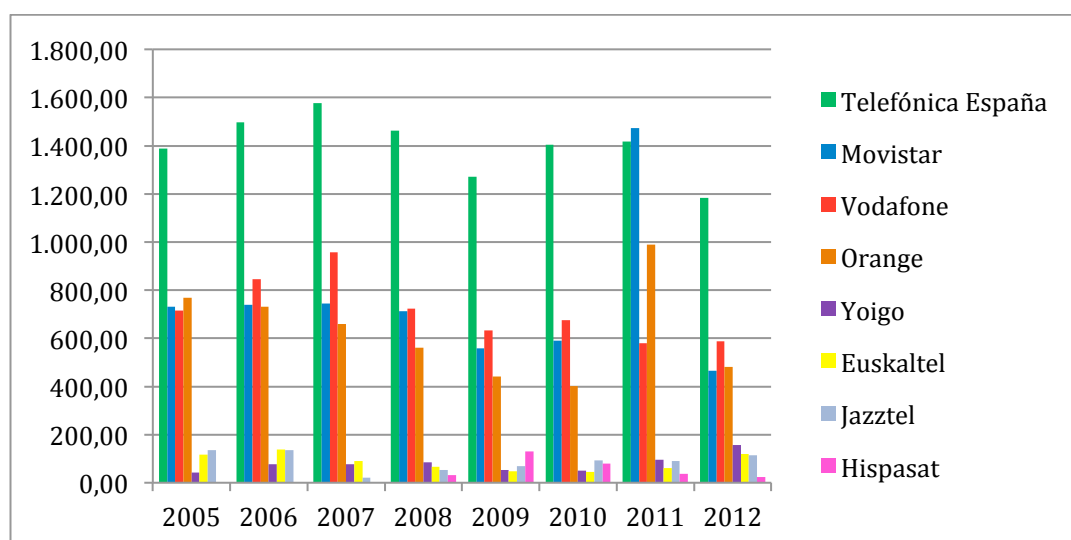


Figura 4.16. Inversión total en el sector de las telecomunicaciones en España en millones de euros por operador.

Nota: Se han elegido los operadores inversores en telecomunicaciones que se han considerado de mayor relevancia. Existen otros como Ono, BT, MediaSet, Canal+, RTVE, etc.

Fuente: CMNCDATA (http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/jsp/inf_anual.jsp?tipo=1)

Última actualización: 11/06/2013

4.4. Análisis Estratégico del Sector de Telecomunicaciones

4.4.1. Situación estratégica del sector de telecomunicaciones

Marco estratégico del sector

El ciclo de crecimiento desenfrenado que vivía el sector de las telecomunicaciones terminó en 2001 cuando se produjo el conocido estallido de la burbuja tecnológica. Sin embargo, en la actualidad el crecimiento del sector parece mucho más sólido, basado en un continuo proceso de generación y desarrollo de nuevas tecnologías y por el incremento de la demanda de servicios por parte de un público interesado en aprovechar sus posibilidades.

Actualmente, en el sector de las telecomunicaciones las posibilidades de éxito de los operadores dependen de varios factores. Los más importantes son los siguientes:

- la apuesta por la innovación
- el desarrollo de nuevos productos y servicios
- la capacidad para establecer alianzas estratégicas
- la capacidad de disponer y ofrecer una dimensión global
- la optimización de la gestión en busca de la excelencia operativa
- la mejora de los sistemas de información y comunicación.

El nuevo marco de actuación en el sector se caracteriza por la creciente intensidad competitiva entre los operadores tradicionales y la entrada de otros nuevos. En este contexto, los operadores del sector se ven obligados a innovar en el diseño de sus estrategias. Para obtener el máximo beneficio ante los cambios que se desarrollan en el sector, los operadores tienen que definir estrategias concretas. La recuperación de las enormes inversiones realizadas en la adquisición de las licencias de telefonía de tercera y cuarta generación (3G y 4G) o los estrechos márgenes de beneficio que impone la mayor competencia, debido a la liberación, son dos ejemplos de factores que han de tener en cuenta los operadores. Sin embargo, estos obstáculos a los que se enfrenta el sector pueden llevar a los operadores a emprender dos estrategias bien diferenciadas:

- Entrar en una dinámica de reducción de inversiones y márgenes para ganar cuota de mercado.
- Apostar estratégicamente por la eficiencia operativa y la innovación como ventaja competitiva. Esta apuesta tiene que abordar también la creación de nuevos segmentos menos expuestos a la competencia, mediante la convergencia de tecnologías y centrándose en la calidad del producto.

La inversión en innovación como valor estratégico en el sector de las telecomunicaciones es lo que hace de la tecnología estudiada, las antenas inteligentes, un atractivo para el futuro de este sector. Habiendo cada vez más competidores en un mercado que avanza hacia la fragmentación, las distintas compañías de telecomunicaciones deben ofrecer servicios de mayor calidad y más específicos. Los sistemas MIMO así como las antenas reconfigurables, aunque representan una inversión muy grande, crearan valor en cuando a calidad de servicio en un mundo que evoluciona hacia la optimización de la comunicación móvil. Los usuarios reclaman cada vez mejor calidad de red allá a donde vayan. Sin duda las tecnologías estudiadas ofrecerán estos servicios entre muchos otros.

Cambio tecnológico y desarrollo de infraestructuras:

El sector de las telecomunicaciones está experimentando un profundo cambio tecnológico que está transformando completamente las perspectivas de negocio. Servicios que hace unos años se encontraban diferenciados poco a poco van formando parte de una misma oferta a la que el usuario puede acceder. En esta situación, los clientes contratarán servicios integrados que incluirán servicios de voz, datos y multimedia que, además, se le prestarán en condiciones de movilidad. Son necesarios tres requisitos para que la convergencia se consolide, con el fin de que vayan desapareciendo las barreras entre negocios tradicionalmente diferenciados:

- Demanda creciente de servicios por parte de los consumidores.
- Desarrollo y ampliación de las infraestructuras de las redes de acceso.
- Existencia de terminales que faciliten al cliente el aprovechamiento de los productos.

El desarrollo y ampliación de las infraestructuras de acceso es un elemento clave para comprender la profunda transformación que está viviendo el sector. Actualmente, las tecnologías de acceso predominantes en la red son las tecnologías DSL (ADSL, ADSL2+, VDSL). Sin embargo, el objetivo es que la telefonía de tercera y cuarta generación, 3G y 4G, se consolide y represente casi el 50% de los accesos a la Red. Asimismo, se espera que el despliegue de las redes de nueva generación (Next Generation Network NGN) permita a los usuarios disponer de un mayor número de ofertas de aplicaciones y servicios. La importancia de la extensión de las nuevas tecnologías impulsará la introducción de nuevos servicios sustitutivos e innovadores.

Esta innovación inminente del sector, pasa sin duda por la innovación de sus infraestructuras. Las antenas deben modernizarse y adaptarse a los nuevos servicios que los usuarios demandaran de las telecomunicaciones. En las ciudades, cada vez más encaminadas a convertirse en Smart Cities, las infraestructuras de comunicaciones móviles serán clave para el desarrollo de sus funciones. Así pues, los sistemas MIMO y antenas reconfigurables serán cada vez más demandados. Los nuevos fabricantes de equipos de telecomunicaciones, así como los que renueven sus infraestructuras en un futuro cercano, consideraran estas dos tecnologías como una posible alternativa.

Evolución de las necesidades de los clientes

La consideración tradicional del cliente o usuario como un sujeto pasivo ha caducado. Actualmente, el usuario actúa como un elemento activo, mostrando y expresando una demanda compleja y personalizada en su consumo de contenidos. En base a un mayor conocimiento del cliente, las operadoras pueden hacer una segmentación de la base de usuarios más eficiente.

En consecuencia, hay que considerar al usuario como el auténtico motor del mercado. Los operadores tienen la obligación de entender las necesidades del cliente, y ofrecerle una respuesta global. Esta transformación de los clientes posibilitará una mayor oferta de servicios diferenciados y de alto valor añadido mediante los cuales, los operadores podrán recuperar sus márgenes y destinarlos hacia inversiones de carácter más innovador.

Estrategias de los operadores

Desde un punto de vista estratégico, las líneas de actuación anteriormente descritas constituyen, al mismo tiempo, una amenaza y una oportunidad para los operadores.

Si los operadores tienen bien claras estas líneas de actuación, tendrán la oportunidad de adaptarse mejor a las necesidades de los clientes y ganar cuota de mercado, pero puede ocurrir que no estén lo suficientemente capacitadas para adaptarse al nuevo entorno del sector. Es por ello, que las empresas se enfrentan a una serie de retos:

- **Excelencia operativa:** Los operadores se encuentran ante dos obstáculos. En primer lugar, sus márgenes de maniobra están limitados a causa de las enormes cantidades que invirtieron en la obtención de las licencias de tercera y cuarta generación, y en segundo lugar, el incesante incremento de la competencia hace que se reduzcan sus márgenes. Las dificultades mencionadas pueden conducir a dos situaciones diferentes: Posiblemente, se puede entrar en una dinámica de reducción de las inversiones como política para intentar ganar mayor cuota de mercado o bien, puede provocar un efecto opuesto: apostar por una estrategia conjunta de eficiencia operativa e innovación. Este último aspecto requiere que se invierta en excelencia operativa como medio para consolidarse en el mercado ante el incremento de la competencia, así como para abrir nuevos segmentos ofreciendo servicios y contenidos innovadores dirigidos a un cliente que demanda ante todo calidad en el servicio. Se puede concluir que el futuro estará dominado por la competitividad entre los operadores en la búsqueda de nuevas fuentes de ingresos a través de servicios de mayor valor añadido.
- **Apuesta por la innovación:** En el sector de las telecomunicaciones, las empresas están en un proceso de expansión de su oferta de servicios, por lo que se asiste a la aparición de nuevos modelos de negocio. La necesidad de ampliar y diversificar sus fuentes de ingresos obliga a los operadores a focalizarse en el desarrollo y lanzamiento de servicios y productos innovadores. Para conseguir una continua renovación de la oferta de servicios, hay dos aspectos de la estrategia que se transforman en vitales: el "timing" y la ejecución de los proyectos. En la situación actual, la capacidad de gestión de proyectos de desarrollo de nuevos productos y servicios constituye una competencia clave para la supervivencia de las empresas en el sector.
- **Integración del negocio:** La existencia de la convergencia y la transformación de los modelos de negocio conllevan a la desaparición de las tradicionales barreras entre mercados de telecomunicaciones. En este sentido, los operadores se orientan hacia varias líneas de estrategia:
 - ⇒ Reestructuración de los negocios, con la integración de unidades organizativas inicialmente independientes.
 - ⇒ Acciones complementarias de tipo corporativo para incrementar la escala o bien para sacar provecho de las complementariedades.
 - ⇒ Alianzas estratégicas con otras empresas ya que individualmente no tienen las capacidades y competencias para poder adaptarse al desarrollo tecnológico e innovador del sector. Dependiendo de la línea estratégica adoptada, el proceso de integración ha tenido diferentes consecuencias para los operadores. En algunos casos han respondido con estrategias de reestructuración organizativa que implican la integración de divisiones segregadas y en otros han puesto en marcha movimientos corporativos.
- **Dimensión globalizada:** Las empresas que desean ocupar un lugar destacado en el sector deben dotar de dimensión global a sus operaciones o bien consolidar su posición en el mercado. Se trata de internacionalizar la empresa, apostando por la captura del potencial de crecimiento de los mercados en los que pueda estar presente, para rentabilizar su modelo de negocio.

- Política de captación de clientes: Desde un punto de visto económico, este reto estratégico es esencial. Consiste en la orientación de todos y cada uno de los elementos de la empresa hacia la atención y la satisfacción de las necesidades de los clientes. Las empresas de telecomunicaciones deben poner en funcionamiento diversas iniciativas para conseguir una oferta de calidad-precio atractiva para el cliente.

4.4.2. Análisis DAFO del sector de telecomunicaciones

El análisis DAFO, también conocido como análisis FODA, es una metodología de estudio de la situación de una empresa o un proyecto, analizando sus características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades) en una matriz cuadrada como muestra la figura 4.17. Proviene de las siglas en inglés SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities y Threats).

Es una herramienta para conocer la situación real en que se encuentra una organización, empresa o proyecto, y planificar una estrategia de futuro.

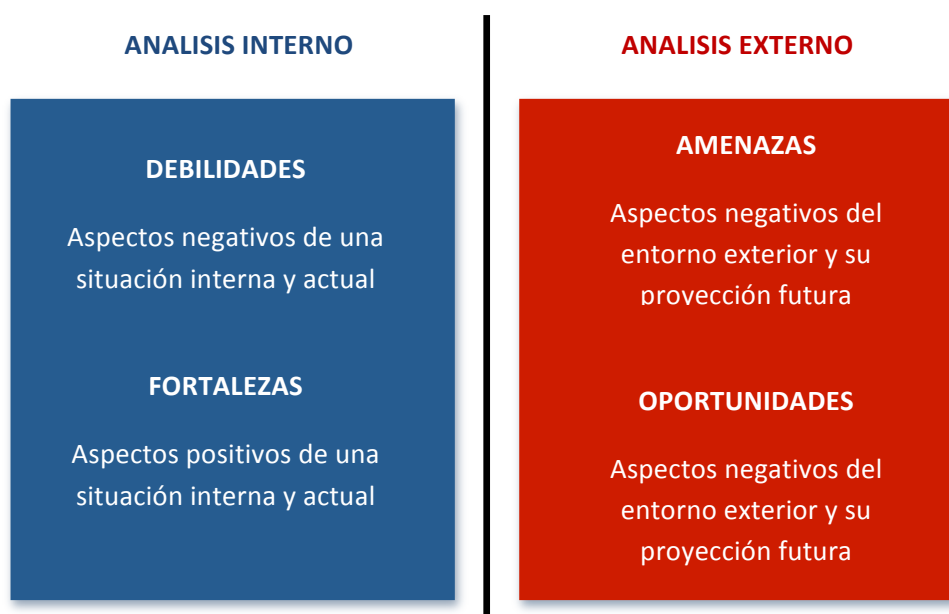


Figura 4.17. Matriz cuadrada que representa el análisis DAFO.

En este caso, se realizará el análisis sobre una hipotética empresa fabricante de antenas inteligentes en el seno del sector de las telecomunicaciones. De este modo, las características internas corresponderán a las debilidades y fortalezas de dicha empresa y por tanto de la tecnología que fabrica, y la situación externa se referirá al estado del sector de telecomunicaciones previamente estudiado. Es decir, lo que se pretende analizar son las oportunidades que ofrece, así como las amenazas que presenta, el sector de telecomunicaciones para el desarrollo de la tecnología estudiada: las antenas inteligentes.

ANALISIS INTERNO

DEBILIDADES

- **Sector con poca fragmentación:**
 - ⇒ Presenta importantes barreras de entrada para nuevas empresas inversoras.
- **Estancamiento del sector:**
 - ⇒ Hace que las tecnologías pertenecientes a dicho sector sean menos atractivas para futuras inversiones.
 - ⇒ Los países desarrollados son los que poseen mayor capacidad innovadora, donde se suelen fomentar las nuevas tecnologías como son las antenas inteligentes, y sin embargo es aquí donde el sector de telecomunicaciones se encuentra más estancado.
- **Disminuye la capacidad inversora:**
 - ⇒ La tecnología de antenas inteligentes necesita unas inversiones muy cuantiosas para ser desarrollada. La tendencia negativa de las inversiones en el sector de telecomunicaciones no presentan un escenario favorable para la implantación de estas tecnologías.

FORTALEZAS

- **Globalización del sector:**
 - ⇒ Las empresas globales tienen más capacidad inversora e innovadora. Son estas empresas las más indicadas para desarrollar e invertir en nuevas tecnologías, como antenas inteligentes, y desplegarlas en sus mercados internacionales.
- **Aumento de la demanda:**
 - ⇒ El aumento de la demanda es más importante en comunicaciones móviles, luego es este aspecto del sector el más sensible a continuar evolucionando. La tecnología de antenas inteligentes está enfocada a mejorar la calidad de este tipo de comunicaciones.

ANALISIS EXTERNO

AMENAZAS

- **Sector con poca fragmentación:**
 - ⇒ Las telecomunicaciones pertenecen a un sector liderado por pocas grandes empresas. En España, tres operadores se reparten el 88,2% de la cuota de mercado como muestra la figura 4.12.
- **Estancamiento del sector:**
 - ⇒ Disminuyen los ingresos del sector en España desde 2009 como muestra la figura 4.7. Hay que tener en cuenta el efecto de la crisis económica general.
 - ⇒ El sector está estancado sobretudo en los países desarrollados de Europa pues es donde ha llegado a su estado de estabilidad.
- **Disminuye la capacidad inversora:**
 - ⇒ Disminuyen las inversiones en este sector en España como muestra las figuras 4.15 y 4.16. Esta tendencia negativa comenzó en 2008.

OPORTUNIDADES

- **Globalización del sector:**
 - ⇒ Las telecomunicaciones están cada vez más presentes en todo el mundo.
 - ⇒ Fuertes inversiones en este sector en todos los países como muestra la figura 4.4.
 - ⇒ Cada vez más empresas de telecomunicaciones globales que expanden su negocio a países extranjeros, sobre todo a países en desarrollo.
- **Aumento de la demanda:**
 - ⇒ Aumento generalizado de la demanda del sector, tanto en los países desarrollados como en los que están en vía de desarrollo, como muestra el aumento de número de abonados a la telefonía móvil en la figura 4.18.

FORTALEZAS

- ⇒ La comunicación móvil tiene cada vez mas usuarios a los que abastecer. Esto provoca que el espectro y el espacio estén cada vez más saturados. Las tecnologías estudiadas son idóneas para esta situación: las antenas reconfigurables permiten liberar el espectro aumentando la eficiencia del sistema; los sistemas MIMO funcionan en espacios saturados.
- ⇒ Aumenta la demanda y la penetración de nuevas tecnologías, como las redes 3G y 4G. Esto implica nuevos despliegues de red más modernos y que ofrezcan un mejor servicio. Estos futuros despliegues de antenas podrían incluir las tecnologías de antenas inteligentes.

▪ Mayor fragmentación del sector:

- ⇒ Una mayor fragmentación en el sector disminuye las barreras de entrada a nuevas empresas inversoras.
- ⇒ El hecho de que haya cada vez mas compañías en el sector de las telecomunicaciones hace que la competencia entre estas aumente. Para ganar cuota de mercado en un sector cada vez más competitivo, las empresas deben, entre otras posibles estrategias, innovar en su tecnología para mejorar sus servicios y la eficiencia de los mismos. Para este propósito la tecnología de las antenas inteligentes es una alternativa interesante.

▪ Aumento de las infraestructuras:

- ⇒ El aumento de inversión generalizado en infraestructuras de telecomunicaciones implica un aumento de la inversión en antenas. Luego las inversiones en el ámbito del sector aquí estudiado, las antenas, sigue una tendencia positiva.
- ⇒ Los países en desarrollo, que están desplegando actualmente sus infraestructuras, pueden instalar directamente antenas inteligentes.

OPORTUNIDADES

- ⇒ Aumento de la demanda sobretudo en comunicaciones móviles. La penetración de la telefonía móvil ha aumentado en España, y en el resto de países desarrollados, hasta tener más líneas móviles que individuos como muestra a figura 4.9. Aunque los ingresos generales del sector disminuyen, los ingresos de banda ancha móvil no han cesado de aumentar como muestra la figura 4.8, así como su penetración como ilustra la figura 4.10.
- ⇒ También aumenta la demanda de nuevas tecnologías como demuestra la rápida penetración de la tecnología 3G ilustrada en la figura 4.11.

▪ Mayor fragmentación del sector:

- ⇒ Cada vez mas repartición de la cuota de mercado tras la liberalización del sector y la entrada de nuevos agentes. Estos nuevos operadores crecen cada año a la par que sus inversiones en el sector como muestra la figura 4.16.

▪ Aumento de las infraestructuras:

- ⇒ La llegada de nuevas tecnologías, como las redes 3G y 4G, demandan el despliegue de nuevas infraestructuras.
- ⇒ Los países en vía de desarrollo, con un sector de telecomunicaciones menos evolucionado, invierten sobre todo en infraestructuras. Su necesidad de desplegar infraestructuras de telecomunicaciones es lo que hace de estos países los mayores inversores en el sector por PIB como muestra la figura 4.5.
- ⇒ A pesar de la crisis económica, no han dejado de aumentar el número de estaciones base de comunicación móvil cada año en España como muestra la figura 4.14.

4.5. Estado Competitivo Actual de la Tecnología Estudiada

4.5.1. Ventajas competitivas de la tecnología

Por que invertir en el sector de telecomunicaciones

El sector de las Telecomunicaciones se ha considerado durante los últimos años como un área sin crecimiento. Sin embargo, según los expertos de la inversión, esto ya no se ajusta a la realidad.

Actualmente se recomienda invertir en telecomunicaciones por la alta rentabilidad por dividendos del sector y por sus rasgos defensivos, así como por los beneficios resistentes de los valores de la industria.

Cabe destacar que por rentabilidad total el sector ha batido al conjunto del mercado con cierto margen durante varios periodos. Su rendimiento por rentabilidad total vuelve a hacer de este sector un atractivo para las inversiones de todo el mundo.

La fuerte demanda de servicios de datos móviles, propiciada por el desarrollo de los Smartphone, se perfila como la tendencia de crecimiento más importante del sector. Tanto el creciente uso de las aplicaciones para móviles, que requieren conexión a Internet, como los servicios basados en la localización del usuario favorecen que los dispositivos se conecten durante más tiempo.

También se debe señalar la importante oportunidad de crecimiento que suponen los mercados emergentes para el sector de las telecomunicaciones. La figura 4.2 muestra el crecimiento de la telefonía móvil celular en el mundo. Cabe destacar que los abonados a esta tecnología en los países en desarrollo se han multiplicado por 15 (de 5 abonados por cada 100 habitantes a 77.8 abonados por cada 100 habitantes) en diez años (desde 2001 a 2011). El crecimiento en los países desarrollados durante este mismo periodo es del 272% (de 45 abonados por cada 100 habitantes a 122.3 abonados por cada 100 habitantes).

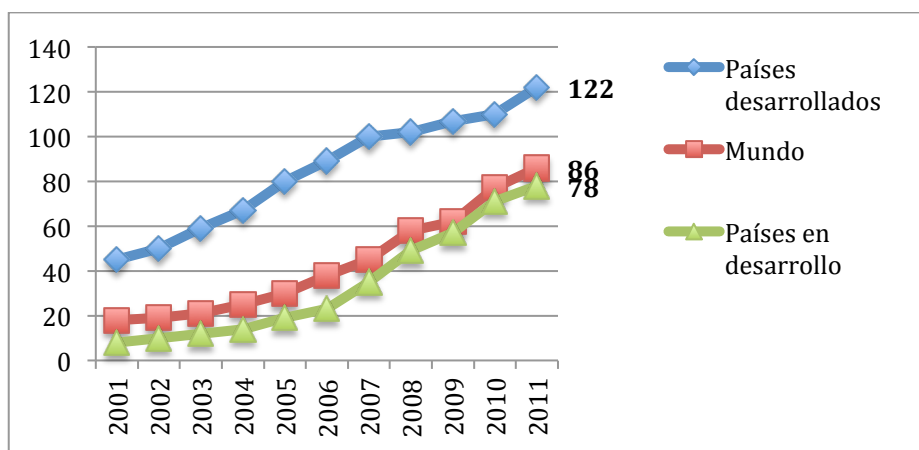


Figura 4.18. Crecimiento del número de abonados a la telefonía móvil celular por cada 100 habitantes en el mundo clasificados por nivel de desarrollo desde el 2001 hasta el 2011.

Fuente: UIT, base de datos sobre indicadores mundiales de las telecomunicaciones/TIC.

Las telecomunicaciones, y en particular las tecnologías inalámbricas, son por tanto un sector en desarrollo y presentan un atractivo para las inversiones de todo el mundo

Por que invertir en las tecnologías de MIMO y antenas reconfigurables

En el seno de las telecomunicaciones, las Smart Antennas, y más concretamente los sistemas MIMO y las antenas reconfigurables, son una de las tecnologías más investigadas y desarrolladas en la actualidad.

Esta tecnología permite conseguir la transmisión inalámbrica a alta velocidad, lo que redundará en una reducción de costes y/o mejora de sus prestaciones para operadores de comunicaciones móviles. Por este motivo, se prevé que se convertirán en una de las técnicas más empleadas en el acceso inalámbrico. La tecnología MIMO, por ejemplo, será utilizada tanto en WiMAX como en LTE.

A continuación, se incluye una lista no exhaustiva de sistemas y aplicaciones con arrays de antenas [4.5]:

- Sistemas RADAR
- Sistemas de comunicaciones: telefonía móvil, satélite, etc.
- Antenas embarcadas: comunicación tierra-satélite y entre satélites
- Radioastronomía, observación de la tierra y del espacio
- Seguimiento de satélites en órbitas bajas, medias o geoestacionarias
- Interferometría
- Comunicaciones vehiculares

4.5.2. Proyectos europeos sobre la tecnología estudiada

Programa de trabajo de la Comisión Europea 2014-2015, ICT [4.6]

La Unión Europea (UE) concentra gran parte de sus actividades de investigación e innovación en el Programa Marco que en esta edición se denominará Horizonte 2020 (H2020). En el período 2014-2020 y mediante la implantación de tres pilares, contribuye a abordar los principales retos sociales, promover el liderazgo industrial en Europa y reforzar la excelencia de su base científica. El presupuesto disponible ascenderá a 76.880 millones de euros.

Resulta muy interesante para este estudio analizar este programa de la comisión Europea, puesto que marca las tendencias sobre qué tecnologías se van a desarrollar en un futuro próximo. Se debe tener en cuenta, que la UE realiza este tipo de programas mediante encuestas realizadas a las empresas y laboratorios más importantes de Europa, luego las tendencias aquí presentadas reflejan la opinión de los grandes propulsores de la economía. Además, la UE destina recursos económicos al desarrollo de las tecnologías innovadoras presentadas en este documento. Esto significa que empresas europeas serán contratadas por la UE para desarrollar estas tecnologías.

Se pretende analizar el documento “Programa de trabajo de la Comisión Europea 2014-2015, ICT”, perteneciente a H2020, con el objetivo de destacar apartados que indican el desarrollo de la tecnología aquí estudiada: las antenas inteligentes.

En el programa de trabajo de la Comisión Europea 2014-2015 ICT, se han encontrado dos apartados, “ICT 6-2014” y “ICT 30-2015”, donde se hace referencia a la tecnología de las antenas inteligentes.

- ICT 6-2014: “Smart Optical and Wireless Network Technologies” (“Tecnologías Inteligentes de Redes Ópticas e Inalámbricas”).
 - ⇒ Se pone en evidencia el importante aumento que experimenta el tráfico inalámbrico que seguirá en aumento en los próximos años. (*“Se espera que el tráfico de la red siga mostrando tasas de crecimiento anual de dos dígitos en todos los segmentos de la red en los próximos años”*)
 - ⇒ Se alerta de que se va a alcanzar el límite de las tecnologías inalámbricas. (*“Los límites de los enfoques tecnológicos existentes para ambas tecnologías ópticas e inalámbricas están a punto de ser alcanzado”*).

- ⇒ La Comisión Europea considera de vital importancia optimizar el uso del espectro. (*"En el dominio inalámbrico, el espectro es un recurso público escaso estratégico para la economía y la sociedad, que debe ser optimizado teniendo en cuenta que se espera un crecimiento exponencial del tráfico como se indica en la Comunicación de la Comisión titulada: Promover el uso compartido de recursos del espectro radioeléctrico en el mercado interior."*)
- ⇒ Se pretende optimizar el espectro y mejorar la eficiencia energética de las redes inalámbricas mediante un uso más dinámico del espectro. Para ello se propone el desarrollo de tecnologías como la radio cognitiva, y la formación de haz adaptativa. (*"Se trabajara en la falta de control dinámico de los recursos de la red inalámbrica [...]. Se establecen como objetivos optimizar el uso del espectro, mejorar la eficiencia energética y estudiar nuevos usos. Un uso más flexible del espectro puede ser abordado desde una perspectiva arquitectónica, incluyendo radio cognitiva y la agregación de espectro, el uso de las bandas más altas de hasta 90 GHz, la modulación y codificación avanzada y las técnicas de conformación de haz adaptativo."*)

En este apartado se consideran las tecnologías propias de las antenas inteligentes, como son la radio cognitiva y la formación adaptativa del haz, como una de las alternativas para mejorar las comunicaciones inalámbricas. La Comisión Europea hace hincapié en el rápido crecimiento de este tipo de comunicaciones que van a alcanzar su límite tecnológico, y por lo tanto es fundamental desarrollar las tecnologías destinadas a mejorar las comunicaciones inalámbricas, como son las antenas inteligentes.

- ICT 30-2015: "Internet of Things and Platforms for Connected Smart Objects" ("Internet de las cosas y Plataformas para Objetos Inteligentes Conectados")
 - ⇒ En este apartado se trata lo que será el entorno de las ciudades inteligentes o "Smart Cities", llamado "entorno inteligente" o "Smart Environment". Un entorno en el que todo, objetos, infraestructuras, ciudadanos, etc., estará conectado entre sí y se comunicara especialmente por redes inalámbricas. (*"La evolución del Internet de los objetos incrustados en los Smart Environments ha sido identificado como uno de los próximos grandes conceptos para apoyar los cambios sociales y el crecimiento económico a una tasa anual estimada del 20%. El reto general es crear un Internet de las Cosas (IoT) extendido en una red de plataformas de dispositivos y objetos conectados. Se apoyaran los entornos inteligentes, las empresas, los servicios y las personas con capacidades de configuración dinámicos y adaptativos"*).
 - ⇒ Con el objetivo de que Europa capture los beneficios que aportara estos entornos inteligentes en las futuras Smart Cities, se pretende invertir en tecnologías aplicables a estas plataformas. Las tecnologías propuestas en este apartado son, entre otras, las redes inalámbricas inteligentes y los sistemas adaptativos y cognitivos. (*"El reto de Europa es capturar los beneficios de la creación de estas plataformas del IoT orientadas a los consumidores [...]. Con este fin se reúnen varias tecnologías ICT genéricas (nano electrónica, redes inalámbricas inteligentes, computación de bajo consumo, sistemas adaptativos y cognitivos)."").*
 - ⇒ La Comisión Europea destaca que estos nuevos Smart Environment traerán consigo un aumento todavía mayor de las conexiones inalámbricas. Esto hará todavía más importante el desarrollo de técnicas para optimizar el uso del espectro y mejorar los servicios de las redes inalámbricas. (*"Esta evolución incluye aspectos como una integración eficaz de la nueva generación de dispositivos inteligentes en una red que debe ser adaptativa, robusta, inteligente e intuitiva."*)

Esto incluye técnicas dinámicas de acceso al espectro y de administración de red para resolver los desafíos de la conectividad y permitir las decenas de miles de millones de nuevas conexiones inalámbricas que traerá consigo el IoT. ”).

- ⇒ Se especifica los lugares donde se predice que se utilizará el IoT. (*“Los hogares inteligentes, lugares de trabajo, espacios públicos, entornos comerciales y las ciudades inteligentes son escenarios potenciales de estos servicios, entre otros.”*)
- ⇒ La Comisión Europea espera que el número de empresas europeas que soliciten proyectos a este respecto sea muy elevado. La UE aportará apoyos financieros a este tipo de proyectos del orden de 50.000-150.000 euros. Se establece un máximo del 30% de la financiación de la UE que podrá destinarse a este fin. (*“Se espera que las propuestas de contribución a este proyecto sean elevadas. La acción puede implicar el apoyo financiero de terceros. El consorcio va a definir el proceso de selección de usuarios adicionales y proveedores por las que se concede la ayuda financiera (típicamente del orden de 50.000 euros - 150,000 por partido). Máximo 30% de la financiación de la UE debe asignarse a este fin.”*).

En este apartado, la Comisión Europea trata el futuro entorno de las Smart Cities. Se desarrollarán millones de conexiones inalámbricas entre los distintos agentes del entorno inteligente, como son los objetos, los edificios, los ciudadanos, etc. Para hacer frente a estos nuevos Smart Environments, las conexiones inalámbricas deben evolucionar e incluir tecnologías que permitan un uso del espectro y del espacio más dinámico y eficiente. Para este propósito, las antenas inteligentes son sin duda una alternativa eficaz.

Investigación y Desarrollo en Comunidad de Madrid. El caso del Grupo de Radiación en arrays de antenas de la ETSIT- de la Universidad Politécnica [4.7]

El Grupo de Radiación de la Universidad Politécnica de Madrid tiene amplia experiencia en el estudio, diseño, construcción y medida de arrays de antenas para diferentes sistemas, participando en un gran número de proyectos con la industria y en convocatorias oficiales.

A continuación, se comentan algunos de estos proyectos.

- Proyecto GEODA: diseño, construcción y medida de una array de antenas activas para recepción de señales satelitales en banda S (figura 4.19).

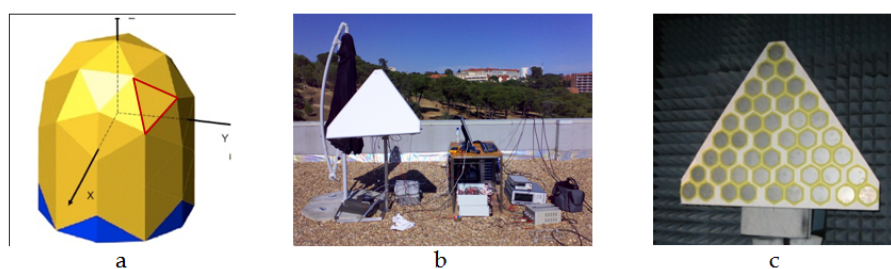


Figura 4.19. a) Antena GEODA; b) Demostración del funcionamiento de un subarray; c) Fotografía de los 45 elementos del subarray plano durante las medidas en cámara anecoica.

- Proyecto GRUA: diseño de una array de antenas activas para transmisión y recepción de señales satelitales en banda L
- Proyecto FAST: estudio sobre la utilización de arrays de antenas para seguimiento de misiones de espacio profundo

- Proyecto GEODA2: diseño de una array de antenas activas para transmisión y recepción de señales satelitales en banda L (2 haces en recepción, y 1 haz en transmisión)
- Proyecto de diseño de arrays reconfigurable en doble banda
- Otros: experiencia en diseño de arrays de antenas para comunicaciones entre pequeños satélites, arrays de antenas para telefonía móvil, arrays de antenas para comunicación con satélites GEO, sistemas MIMO para terminales

4.5.3. Inversiones mundiales sobre la tecnología estudiada

Empresas inversoras

- **Motorola:**
Motorola es una empresa estadounidense especializada en la electrónica y las telecomunicaciones, establecida en Schaumburg, Illinois, en las afueras de Chicago. En 2011 Motorola fue dividida en dos firmas independientes una de la otra. Motorola Mobility nació con el que fuera el brazo de Motorola en materia de teléfonos, mientras que Motorola Solutions se quedó con la parte de equipos como servidores y para redes de telecomunicación. En 2012 Motorola Mobility fue adquirida por Google, Actualmente Motorola Mobility pertenece a la compañía Lenovo, tras haberla comprado por 2.910 millones de dólares a Google el 29 de enero de 2014.
- **ArrayComm (www.arraycomm.com):**
ArrayComm , Inc., fundada en 1992, es el líder mundial en telefonía móvil de banda ancha y en la tecnología de antenas inteligentes. ArrayComm ha desplegado más de 190.000 estaciones base con equitación IntelliCell en todo el mundo y atienden a más de 15 millones de suscriptores. La compañía tiene más de 300 patentes emitidas o pendientes de emisión, y sus licenciarios de tecnología incluyen Kyocera , LG Electronics , Marconi, y AirNet.
- **picoChip:**
PicoChip, ubicado en Bath, Inglaterra, se dedica a proporcionar soluciones inalámbricas innovadoras y flexibles para ayudar a los fabricantes de equipos a minimizar el tiempo de comercialización, los costos y el consumo de energía de sus productos.
- **Texas Instruments (<http://www.ti.com>):**
Texas Instruments Incorporated (TI), con sede en Dallas, Texas, provee sistemas DSP innovadores y tecnologías análogas. Además de semiconductores, los negocios de la compañía incluyen Sensors & Controls , y Soluciones Educativas y de Productividad. TI diseña, fabrica y vende sus productos en más de veinticinco países.
- **Freescale Semiconductor:**
Freescale Semiconductor, con sede en Austin, Texas, es líder global en el diseño y manufactura de semiconductores embebidos para los mercados de automotriz, consumo, industrial, redes y soluciones inalámbricas . La compañía tiene operaciones de diseño, investigación y desarrollo, manufactura y venta en más de treinta países. Freescale es una de las compañías de semiconductores más grande del mundo con ventas en 2006 de 6400 millones dólares.

- Easat Antenas:
Con sede en Stoke-on-Trent (Reino Unido), fue fundada en 1987 como un proveedor especializado de antenas de radar y sensores. Desde entonces, Easat se ha convertido en un proveedor líder en el mundo en las tecnologías de antenas de array y antenas reflectantes para su uso en la vigilancia por radar de objetivos aéreos, terrestres y marítimos para aeropuertos, puertos, seguridad fronteriza y aplicaciones militares. Con más de 200 instalaciones en todo el mundo, la reputación de Easat como suministrador de antenas de alto rendimiento, rentables y con una fiabilidad probada, ha llevado a muchos usuarios finales y consultores a utilizar antenas Easat en sus proyectos.

Inversiones en la tecnología analizada

COMPAÑÍA INVERSORA	PROVEEDOR	INVERSION	FECHA DE LA INVERSION	RESUMEN DE LA INVERSION
Motorola (EEUU)	Motorola (EEUU)	-	2013	Motorola podría incluir la tecnología MIMO en uno de sus nuevos modelos de Smartphone. El nuevo Moto X podría estar integrado por la tecnología conocida como 4x4, una antena inteligente dual LTE con un sistema MIMO (múltiples entradas y salidas). Con esta adición, el desempeño del móvil al mandar y recibir paquetes de datos mediante la red LTE debería ser óptimo, así que, en teoría, podría superar a varios equipos de la competencia en el terreno de la navegación.
Hispasat (España)	Arianespace (Europa)	100 m\$	2013	El operador español Hispasat encargó a la sociedad europea Arianespace el lanzamiento con sus cohetes de dos nuevos satélites de telecomunicaciones, el Amazonas 4A, que debe ser puesto en órbita a comienzos de 2014, y el novedoso Hispasat AG1, para finales de ese mismo año. El Hispasat AG1 es la primera misión de una nueva plataforma de satélites del fabricante alemán OHB Systems con el operador español y con la ESA. Este satélite incluye un elemento innovador. Se trata de una antena reconfigurable en órbita que permitirá cambiar la zona y el tamaño de la zona de cobertura, lo que le dará flexibilidad para dirigirse a unos u otros mercados y un procesador a bordo que actuará de central de conmutación, ofrecerá diferentes combinaciones entre las zonas de cobertura y permitirá la captación de la señal con antenas más pequeñas en tierra.
Alvarion (Israel)	ArrayComm LLC	-	2011	ArrayComm LLC anunció la disponibilidad comercial de su software de formación del haz para las estaciones base de Alvarion, una de las empresas líderes en tecnología 4G del mundo. Gracias a esta tecnología, los operadores experimentan una mejora sustancial en cuanto a capacidad, rendimiento y rango del sistema, obteniendo así mayores ingresos derivados de la inversión en infraestructura inalámbrica. Gracias a esta tecnología 4T x beamforming, Alvarion considera que el resultado de la inversión tendrá un rápido time-to-market (rapidez de comercialización) y necesitara menos inversión en su programa de desarrollo. Además podrán ofrecer a sus clientes un mejor rendimiento en ambientes de altas interferencias.

Samsung Electronics (Corea)	ArrayComm LLC	-	2005	ArrayComm ha concedido los derechos de utilización de sus antenas inteligentes a Samsung Electronics. El acuerdo otorga a Samsung los derechos para utilizar las soluciones de ArrayComm en sus estaciones base así como la totalidad de sus productos inalámbricos. Los operadores inalámbricos, tanto operadores establecidos como WCDMA como nuevos emergentes como HSDPA y WiMAX, deben ofrecer cada vez más ancho de banda a sus clientes. ArrayComm ha demostrado que la tecnología de antenas inteligentes puede ayudar a los proveedores a cumplir con estas demandas gracias a las mejoras significativas que aporta en cuanto a rango del sistema, capacidad, velocidad de datos y calidad de cobertura.
picoChip (Reino Unido)	ArrayComm LLC	-	2006	PicoChip y ArrayComm han forjado una alianza por la cual la solución inalámbrica flexible PHY de picoChip incorporara el software MIMO™ de ArrayComm. PicoChip ofrecerá esta solución como una opción de software a sus clientes para añadir la tecnología de antenas inteligentes y MIMO tanto a su estación base WiMAX como a los terminales de sus abonados. El software de red MIMO de ArrayComm implementa todos los aspectos de procesamiento de la antena de los perfiles WiMAX aprobados por el Foro WiMAX Mobile Task Group (MTG) para IEEE 802.16e. La solución ArrayComm incluye soporte para MIMO, sistemas de antenas adaptativas (AAS) y modos combinados MIMO/AAS para ambos terminales (estaciones base y terminales de abonados). Estos ofrecen las tarifas de datos, el rango de celdas y la capacidad de red óptimos que necesitan los operadores para cumplir con sus objetivos de negocio para servicios móviles de banda ancha. MIMO y AAS se combinan para aumentar las tasas de datos de los suscriptores, gestionar interferencias y maximizar la capacidad global de la red. El resultado es una ventaja de rendimiento significativa para WiMAX.
Texas Instruments Incorporated (EEUU)	ArrayComm LLC	-	2006	Para responder a las necesidades de los proveedores de servicios inalámbricos, que deben reducir los gastos de explotación al tiempo que aumentar el rendimiento de la red, ArrayComm y Texas Instruments Incorporated (TI) [NYSE: TXN] han creado una alianza para combinar la tecnología de antena inteligente de ArrayComm con el procesamiento de señal digital de alto rendimiento de TI. En comparación con los sistemas existentes, esta solución combinada proporciona a los operadores interesantes mejoras: multiplica por cuatro la cobertura del sistema inalámbrico, las tasas de datos aumentan más del doble, y un aumento de casi diez veces en la capacidad de la red, además de una mejor calidad de cobertura en las redes WCDMA y 802.16/WiMax / HSDPA. Los proveedores de servicios que utilicen esta solución combinada reducirán los costos operativos y de capital a la vez que aumentaran el rendimiento de la red. La combinación de la red MIMO™ del software de antena inteligente de ArrayComm con el procesador de alto rendimiento TMS320TCI6482 DSPs de TI proporciona a los fabricantes de estaciones base una diferenciación crítica ya que asegura un menos tiempo de comercialización, mayor rendimiento de los equipos y una mayor flexibilidad en la evolución de los estándares inalámbricos. Steve Sifferman, vicepresidente ejecutivo de operaciones cDE ArrayComm, comenta sobre la alianza: "TI tiene más la plataforma DSP de infraestructuras inalámbricas más versátil y completa de la industria. El acoplamiento del DSP de TI con nuestro software de antena inteligente producirá mejoras sustanciales en las implementaciones de redes de proveedores de servicios de 3G y WiMAX".

4.6. Conclusiones de la Inteligencia Competitiva

El estudio realizado sobre el mercado de las telecomunicaciones, en este apartado de IC, muestra un sector estancado, sobre todo en los países desarrollados, desde el comienzo de la crisis económica general en 2008. Gran parte de este hipersector, como son las comunicaciones fijas, o la televisión por cable, han visto descender sus ingresos en los últimos años.

Sin embargo, en el seno de este sector estático, las comunicaciones inalámbricas no dejan de evolucionar. La demanda de la telefonía móvil y demás servicios inalámbricos aumenta significativamente cada año en todo el mundo. Además, en este área se demandan cada vez más las nuevas tecnologías, como demuestra la rápida penetración de las redes de nueva generación 3G y 4G, y el aumento en la demanda de banda ancha móvil. Esta demanda de nuevas tecnologías en las comunicaciones inalámbricas hace que sea atractiva la inversión en la innovación de estos servicios.

En un mundo que avanza hacia los Smart Environments, esta demanda frenética de comunicaciones móviles no parece que vaya a abandonar su tendencia al alza. En estos nuevos entornos inteligentes, como serán las Smart Cities, todo deberá estar conectado entre sí, y cada vez será más necesario mejorar los servicios inalámbricos así como optimizar el uso del espectro y del espacio. Una mejora de las comunicaciones inalámbricas implica la renovación de sus infraestructuras, y por lo tanto de las antenas, que deberán asegurar comunicaciones inalámbricas óptimas, seguras y eficientes.

Por estos motivos, las Smart Antennas, que cuentan con las propiedades necesarias para perfeccionar las comunicaciones inalámbricas, prometen ser un foco de inversión en un futuro cercano.

Capítulo 5:

CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

5.1. Conclusiones

Mediante el estudio de la tecnología de las antenas inteligentes se han identificado algunos de los beneficios que estas pueden aportar a las comunicaciones inalámbricas y por consiguiente a las futuras redes de las Smart Cities. Se han descrito dos ejemplos de técnicas dentro de la categoría de Smart Antennas que pueden aportar importantes mejoras en las prestaciones de dichas comunicaciones. Los sistemas MIMO, por ejemplo, permiten un mejor aprovechamiento del espacio y del canal. Las antenas reconfigurables proporcionan un aumento de la eficiencia espectral y energética así como la posibilidad de comunicación en canales complejos y saturados.

La Vigilancia Tecnológica efectuada sobre la tecnología en cuestión ha aportado información valiosa sobre su estado de desarrollo. El empleo de esta herramienta de análisis nos ha permitido comprobar la utilidad de las búsquedas en bases de datos científicas y de patentes, ya que el número de resultados es un indicador clave del estado de una tecnología. Por ejemplo la cuantía de resultados nos da una pista sobre la madurez de la tecnología mientras que la tasa de incremento reciente de los mismos indica el interés que esta suscita últimamente. Este análisis nos ha posibilitado diferenciar la información que aportan las publicaciones científicas de la que proporcionan las patentes. Las primeras indican que una tecnología está siendo investigada y con qué intensidad, mientras que las segundas son un indicador fiable sobre el desarrollo real de una tecnología a nivel comercial. Las búsquedas se han realizado en dos bases de datos y los resultados obtenidos han demostrado ser coherentes. Por otro lado, se ha puesto de manifiesto que no todas las técnicas de Smart Antennas evolucionan con un mismo ritmo, hay en la actualidad ciertas tecnologías que suscitan un mayor interés. Los sistemas MIMO, atendiendo al número de publicaciones científicas y patentes, han demostrado ser la técnica más estudiada y empleada en comunicaciones radio en relación con las Antenas Inteligentes. Sin embargo, las antenas reconfigurables han resultado ser la tecnología con mayor crecimiento en los últimos años, aunque podríamos decir que son menos maduras en su desarrollo si atendemos al número de resultados. En este sentido se ha comprobado que la VT, nos ha permitido analizar estas dos técnicas de Smart Antennas tanto por su interés científico como cuantificar su evolución. Desde el punto de vista de gestión de recursos tecnológicos, la VT nos permite afirmar que estas dos técnicas presentan objetivamente un interés alto y con una clara evolución hacia su aplicación comercial.

El análisis del entorno competitivo y económico de estas tecnologías realizado mediante la herramienta de Inteligencia Competitiva ha mostrado un sector de las telecomunicaciones estático en su conjunto, sobre todo en países desarrollados como España. Sin embargo, los datos analizados han destacado que las comunicaciones inalámbricas son la principal área de crecimiento potencial. Esto ha quedado reflejado tanto en el desarrollo constante de sus tecnologías como en el aumento incesante de la demanda en todo el mundo. La tecnología de antenas inteligentes, destinada a optimizar este tipo de comunicaciones, ofrece pues oportunidades de negocio y ventajas técnicas que pueden mejorar los resultados económicos.

Por otro lado, se ha podido establecer una coherencia entre los análisis de VT e IC. Al realizar esta última se ha demostrado que las antenas inteligentes tienen posibilidades de

desarrollo corroborando de esta forma los resultados de la VT que mostraban una tecnología en clara evolución.

La información presentada a lo largo de este estudio pretende ser útil para las organizaciones con intención de invertir o participar de alguna forma en la evolución de las antenas inteligentes. Los resultados del estudio aquí presentado pueden emplearse como herramienta para la anticipación en el negocio o la toma de decisiones de investigación en esta tecnología. Dichos resultados muestran un entorno apropiado para el desarrollo de la tecnología de las antenas inteligentes y en particular en las técnicas de MIMO o antenas reconfigurables.

5.2. Líneas Futuras

En este trabajo se han analizado las aportaciones de dos técnicas concretas de Smart Antennas, como son los sistemas MIMO y las antenas reconfigurables, en el desarrollo de las redes de comunicación de las ciudades del futuro. Como líneas futuras generales sería interesante dirigir este estudio hacia otras aplicaciones como por ejemplo comunicaciones M2M (Maquina-Maquina) o vía satélite. Sería una aportación valiosa analizar los beneficios que esta tecnología podría proporcionar a estos diferentes tipos de comunicaciones. También se podrían analizar otras técnicas de antenas inteligentes, como es por ejemplo la radio cognitiva que esta mas enfocada a la reconfiguración del software de la antena.

Si pensamos en líneas futuras mas especificas, sería interesante ampliar este estudio mediante el uso de nuevas bases de datos complementarias como por ejemplo productos en el mercado que empleen esta tecnología, o información sobre las citaciones de las antenas inteligentes en publicaciones. También sería interesante extender el estudio económico de la tecnología vigilada mediante un análisis, de las cinco fuerzas de Porter por ejemplo, de una empresa fabricante de antenas en España como Samsung o Ericsson.

REFERENCIAS

[1.1] Datos según "United Nations: World Urbanization Prospects: The 2001 Revision Chapter 6"

[1.2] Para obtener más información sobre este prototipo visitar:
www.gsma.com/newsroom/gsma-connected-city

[1.3] Norma española UNE 166006 *Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, 2006.*

[2.1] Datos del trabajo "Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de laWLAN deWheeler Lane Technology College"

[2.2] D.Schaubert, "Frequency-agile polarization diversity microstrip antennas and frequency scanned arrays," U.S. Patent 4 367 474, Jan. 1983.

[2.3] J. K. Smith, Reconfigurable apertura antenna (RECAP), DARPA, 1999. Disponible en la red: www.darpa.mil.

[2.4] Clasificación realizada según la propuesta en el documento "Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications" de Chistos G. Christodoulou, Fellow IEEE, Youssef Tawk, Steven A. Lane, and Scott R. Erwin, Senior Member IEEE

[2.5] S. Jalali Mazlouman, M. Soleimani, A. Mahanfar, C. Menon, and R. G. Vaughan, BPattern reconfigurable square ring patch antenna actuated by hemispherical dielectric elastomer,[Electron. Lett., vol. 47, no. 3, pp. 164–165, Feb. 2011.

[2.6] J.-C. Langer, J. Zou, C. Liu, and J. T. Bernhard, BReconfigurable out-of-plane microstrip patch antenna using MEMS plastic deformation magnetic actuation,[IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., vol. 13, no. 3, pp. 120–122, Mar. 2003.

[2.7] Y. Tawk and C. G. Christodoulou, BA celular automata reconfigurable microstrip antenna design,[in Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propag., Jun. 2009, DOI: 10.1109/APS.2009.5171548.

[2.8] Y. Tawk, J. Costantine, and C. G. Christodoulou, BA frequency reconfigurable rotatable microstrip antenna design, [in Proc. IEEE Int. Symp. Antennas Propag., Jul. 2010, DOI: 10.1109/APS.2010.5561272.

[2.9] W. Hu, M. Y. Ismail, R. Cahill, J. A. Encinar, V. Fusco, H. S. Gamble, D. Linton, R. Dickie, N. Grant, and S. P. Rea, BLiquid-crystal-based reflectarray antenna with electronically switchable monopulse patterns, [Electron. Lett., vol. 43, no. 14, Jul. 2007.

[2.10] L. Liu and R. J. Langley, BLiquid cristal tunable microstrip patch antenna,[Electron. Lett., vol. 44, no. 20, pp. 1179–1180, Sep. 2008.

[2.11] D. M. Pozar and V. Sanchez, BMagnetic tuning of a microstrip antenna on a ferrite substrate,[Electron. Lett., vol. 24, no. 12, pp. 729–731, Jun. 1988.

- [2.12] L. Dixit and P. K. S. Pourush, BRadiation characteristics of switchable ferrite microstrip array antenna, [Inst. Electr. Eng. Proc.VMicrow. Antennas Propag. Vol. 147, no. 2, pp. 151–155, Apr. 2000.
- [2.13] C. W. Jung, M. Lee, G. P. Li, and F. De Flaviis, BReconfigurable scan-beam single-arm spiral antenna integrated with RF-MEMS switches, [IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 54, no. 2, pp. 455–463, Feb. 2006.
- [2.14] S. Shelley, J. Costantine, C. G. Christodoulou, D. E. Anagnostou, and J. C. Lyke, BFPGA-controlled switch-reconfigured antenna, [IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 9, pp. 355–358, 2010.
- [2.15] C. R. White and G. M. Rebeiz, BSingle and dual-polarized tunable slot-ring antennas, [IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 57, no. 1, pp. 19–26, Jan. 2009.
- [2.16] C. J. Panagamuwa, A. Chauraya, and J. C. Vardaxoglou, BFrequency and beam reconfigurable antenna using photoconductive switches, [IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 54, no. 2, pp. 449–454, Feb. 2006.
- [2.17] Y. Tawk, A. R. Albrecht, S. Hemmady, G. Balakrishnan, and C. G. Christodoulou, BOptically pumped frequency reconfigurable antenna design, [IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 9, pp. 280–283, 2010.
- [2.18] Y. Tawk, J. Costantine, S. E. Barbin, and C. G. Christodoulou, BIntegrating laser diodes in a reconfigurable antenna system, [in Proc. SBMO/IEEE MTT-S Int. Microw. Optoelectron. Conf., Oct. 2011.
- [2.19] S. Jalali Mazlouman, M. Soleimani, A. Mahanfar, C. Menon, and R. G. Vaughan, BPattern reconfigurable square ring patch antenna actuated by hemispherical dielectric elastomer, Electron. Lett., vol. 47, no. 3, pp. 164–165, Feb. 2011.
- [4.1] Carlos A. Benavides Velasco, Cristina Quintana García, Inteligencia Competitiva, prospectiva e innovación. La norma UNE-166006 EX sobre el sistema de vigilancia tecnológica, 2006.
- [4.2] Fernando Maristany, Daniel Blázquez, Las Tecnologías de la Información en las empresas españolas. Situación 2002/2007. Colección EOI Tecnología e Innovación.
- [4.3] EITO (European Information Technology Observatory). Web oficial: www.eito.com. Datos obtenidos del estudio [4.2] puesto que los datos de la web de EITO son de pago.
- [4.4] CMNC DATA (Comisión Nacional de los Mercados y de la Competencia). Datos obtenidos de su web oficial: <http://cmtdata.cmt.es/cmtdata/>
- [4.5] Lista desarrollada a partir de la información proporcionada por Eugenio Fontan Oñate, General Manager of Madrid Aerospace Cluster.
- [4.6] Comisión Europea: Programa de trabajo 14-15 ICT. Datos obtenidos del borrados del programa de trabajo Horizonte2020 publicado en la web: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/H2020%20LEIT-ICT%20WP%202014-15%20-%2031%2010%202013.pdf>

[4.7] Información facilitada por la empresa Nokia.